Contribution à l'étude du quaternaire récent de la Grande Limagne marno-calcaire : morphogenèse et pédogenèse

S. A. R. V.
- OCT 1963
DOCUMENTATION

par Louis GACHON

ANNALES AGRONOMIQUES, 1963, VOLUME 14, N° HORS-SÉRIE I

ANNALES AGRONOMIQUES

VOLUME 14 1963 N° HORS SÉRIE I

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DU QUATERNAIRE RÉCENT DE LA GRANDE LIMAGNE MARNO-CALCAIRE: MORPHOGENÈSE ET PÉDOGENÈSE

par Louis GACHON

Station d'Agronomie, Centre de Recherches agronomiques du Massif Central, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme)

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

149, rue de Grenelle - Paris (7e)

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DU QUATERNAIRE RÉCENT DE LA GRANDE LIMAGNE MARNO-CALCAIRE : MORPHOGENÈSE ET PÉDOGENÈSE [1]

Louis GACHON

Station d'Agronomie, Centre de Recherches agronomiques du Massif Central, Clermont-Ferrand (Puy-de Dôme)

PLAN

INTRODUCTION 7

I. — GÉNÉRALITÉS SUR LA GRANDE LIMAGNE DANS SON ENSEMBLE 9

1. — Le cadre géographique
2. — Le climat
3. — Le substratum géologique
4. — L'aspect morphologique actuel
5. — Les régions naturelles
6. — Conclusion ; définition du périmètre étudié

II. — HISTORIQUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA MORPHOGENÈSE ET LA PÉDOGENÈSE DE LA LIMAGNE MARNO-CALCAIRE 15

1. — La morphogenèse
2. — La pédogenèse

III. — OBSERVATIONS NOUVELLES ET DISCUSSION 19

1. — Les sols
2. — Le substratum
3. — Les rapports stratigraphiques des formations superficielles
4. — Les phases morphogéniques de la fin du Quaternaire

IV. — LES TECHNIQUES UTILISÉES 24

A. — Les observations et mesures sur le terrain
B. — Le prélèvement des échantillons
C. — Les analyses de Laboratoire
   1) Granulométrie
   2) Degré de saturation
   3) Matières organiques
   4) Analyse chimique élémentaire
   5) Fer libre
   6) Analyse pollinique

[1] Ce travail a fait l'objet d'une thèse de Doctorat d'État soutenue le 29 juin 1963 à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

V. — Caractères généraux des formations superficielles 36

A. — Considérations générales
B. — Granulométrie
1) Les limons
2) Les sédiments fluviatiles
3) Les sédiments lacustres
4) Les sols
5) Conclusions
C. — L'état calcique
1) Les marno-calcaires et les limons
2) Les alluvions
3) Les sols sur substratum perméable
4) Les sols sur substratum imperméable
5) Variations de l'état calcique des sols le long des profils topographiques : interprétation des profils pédologiques
6) Conclusions
D. — Les matières organiques
1) Les marno-calcaires
2) Les limons
3) Les vases lacustres
4) Les sols
5) Conclusions
E. — Conclusions : caractères comparés des formations superficielles
1) Les marno-calcaires stampiens
2) Les limons
3) Les alluvions
4) Les vases
5) Les sols

VI. — Les relations de la morphologie et de la pédologie ; description et interprétation de profils caractéristiques 76

A. — Le substratum
B. — Les sols sur substratum marno-calcaire
1) Les sols de croupe et les sols de pente
2) Les sols de piémont
3) Les sols de plaine
C. — Les sols sur substratum sableux
1) Les sols sur alluvions anciennes
2) Les sols sur alluvions modernes

VII. — Étude de profils particuliers 108

A. — Les sols argileux sur terrasses anciennes déchaussées
1) Localisation
2) Comparaison de deux profils de la terrasse de Saint-Clément-de-Régnat
3) La déflation éolienne
4) Conclusions
B. — Les sables volcaniques localisés hors du périmètre des alluvions modernes
1) Localisation
2) Description d'un profil type
3) Examen minéralogique
4) Analyse totale
5) Interprétation
6) Conclusions ...

VIII. — Les relations chronologiques 126

A. — L'analyse pollinique
1) Le concept stratigraphique de l'analyse pollinique
2) La conservation des pollens

3) La présence de pollens dans les formations superficielles de Limagne
4) L'évolution paléobotanique de la Limagne au cours du Post-glaciaire
5) Les symptômes de l'activité humaine

B. — La recherche des corrélations chronologiques avec les phases paléobotaniques
1) Généralités
2) Les indications recueillies en Limagne

C. — Application : les divers renseignements datés
1) Documents paléobotaniques
2) Documents archéologiques

D. — Conclusions : l'âge des formations superficielles pollinifères de Limagne
1) Les limons
2) Les alluvions et les vases
3) Les sols

IX. — Étude particulière de la région de Sarliève 159

1) Les faits
2) Interprétation
3) Discussion

X. — Synthèse : l'évolution morphologique et pédologique de la Limagne depuis la période wurmienne 167

1) La formation du cône de l'Artières
2) La période wurmienne froide et humide
3) La période froide et sèche du Tardiglaciaire
4) Le réchauffement postglaciaire
5) L'optimum climatique postglaciaire
6) La péjoration climatique du « Subboréal »
7) L'expansion explosive de l'agriculture à l'âge du Fer
8) La situation actuelle

XI. — Conséquences agronomiques 174

1) Les caractères chimiques du sol
2) Les caractères physiques du sol
3) Les caractères morphologiques du profil pédologique
4) Les types de terroirs limagnais

XII. — Comparaison aux pays d'Europe occidentale et d'Afrique du Nord 180

1) Régions du Massif Central
2) Régions au-delà du Massif Central
3) Conclusions

Références bibliographiques

INTRODUCTION

Dès l'époque de la conquête romaine, les Limagnes ont acquis une réputation de fertilité qu'elles ont toujours conservée. Si l'on sait aujourd'hui qu'elles doivent leur haute valeur agricole à un ensemble de qualités chimiques et de qualités physiques de leurs sols en combinaison heureuse avec les caractères du climat, on demeure cependant surpris devant le petit nombre de travaux qu'a suscité une renommée légendaire.

En fait, la seule étude approfondie des sols de Limagne est celle de D. COLLIER (1949), établie par les méthodes pédologiques classiques, principalement grâce aux résultats comparés de l'analyse chimique des sols et des roches du substratum géologique. Consacrée aux « Terres Noires » de la Grande Limagne, elle a montré les relations génétiques de ces sols de plaine aux sols de coteaux. Du fait de ces liaisons, on passe sans discontinuité des uns aux autres, et sans autre élément vraiment différentiel que la couleur, si bien qu'il apparaît délicat, pour ne pas dire factice, de distinguer des « Terres Noires » et d'autres sols argilo-calcaires aux propriétés semblables. Par contre, en passant des faciès marno-calcaires aux faciès détritiques les sédiments stampiens engendrent des sols aux caractères pédologiques et agronomiques fortement différenciés.

Si l'œuvre de D. COLLIER a mis en évidence de manière décisive l'origine des « Terres Noires », formées essentiellement à partir des sédiments stampiens marno-calcaires, et aussi l'érosion qu'ont subie les sols de coteaux, il reste à déterminer les processus et la date de ces phénomènes pédogéniques et morphogéniques. L'intérêt de ce double but trouve une justification supplémentaire dans l'importance des érosions qui ont affecté la Limagne au siècle dernier et qui persistent actuellement.

La recherche des causes et des mécanismes de l'érosion nous conduit naturellement à l'étude morphologique de la Grande Limagne. Sur ce point, nous disposons d'une pièce maîtresse avec la thèse complémentaire de M. DERRUAU (1949 *b*). Mais cette histoire de la formation du relief limagnais se termine avec le creusement wurmien, dernier épisode majeur. Nous avons donc cherché à la compléter par l'étude géologique du Quaternaire postérieurement au creusement wurmien.

Pour réaliser un tel but, nous utiliserons certaines méthodes couramment employées en pédologie, ce qui nous permettra de compléter la documentation analytique apportée par D. COLLIER. Nous porterons plus particulièrement notre effort sur les rapports réciproques des diverses formations superficielles : position stratigraphique, puissance relative, granulométrie, en fonction de la localisation topographique. Ainsi, nous espérons dégager les principaux événements du Quaternaire récent, en même temps que leur ordre de succession.

Pour préciser la date des phénomènes morphogéniques et pédogéniques alors mis en évidence, nous ferons appel à l'analyse pollinique et nous aurons recours aux données de l'archéologie. Enfin, nous chercherons à étalonner les indications ainsi

recueillies en adressant à un laboratoire spécialisé des échantillons susceptibles d'être datés par la mesure du radiocarbone.

D'où le plan de notre exposé. En premier lieu, nous ferons le point des connaissances actuelles sur la fin du Quaternaire de la Grande Limagne que nous confronterons avec nos observations personnelles pour en souligner les contradictions et les insuffisances ; ce qui nous permettra de poser les problèmes et de formuler des hypothèses de travail.

Après avoir exposé les méthodes utilisées soit sur le terrain soit au laboratoire, nous étudierons les caractères principaux des formations superficielles limagnaises afin de préciser leur genèse : origine, processus des remaniements (agent transporteur et conditions de dépôt) ou évolution sur place. Ensuite, nous consacrerons un chapitre à la description et à l'interprétation des profils caractéristiques qui illustrera les divers types observés en Limagne et qui se terminera par l'étude de l'érosion éolienne et par celle des sables volcaniques localisés hors du périmètre des alluvions récentes.

Puis nous rassemblerons toutes les indications chronologiques qui nous permettront de préciser la date de mise en place des diverses formations superficielles.

Après quoi, le problème du cône de l'Artières sera sommairement abordé parce que M. DERRUAU lui attribue un âge postérieur au creusement wurmien qui le placerait donc dans le cadre chronologique de notre travail.

Enfin, à partir de l'ensemble des documents ainsi recueillis, nous établirons en guise de conclusion la synthèse des événements géologiques qui ont marqué le Quaternaire de la Grande Limagne marno-calcaire depuis le creusement wurmien. Nous indiquerons quelles sont les répercussions morphologiques et pédologiques et surtout les conséquences agronomiques de ces divers phénomènes d'un passé extrêmement court à l'échelle géologique, mais dominé par le rôle de l'Homme.

Et nous terminerons notre exposé en comparant cette histoire géologique à celle des autres régions de l'Europe Occidentale et de l'Afrique du Nord.

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS SUR LA GRANDE LIMAGNE DANS SON ENSEMBLE

1°) Le cadre géographique

La Grande Limagne, ou Limagne du Nord, est une plaine relativement bien délimitée par son cadre morphologique. En effet, elle est insérée entre les massifs anciens des Monts Dômes et de la Combraille, à l'ouest ; du Livradois, du Forez et des Bois Noirs, à l'est. Le contact avec ces terrains encaissants est des plus nets car il se fait par des failles à rejets importants. Au sud, le horst granitique de Saint-Yvoine la sépare de la Limagne d'Issoire. Au nord, les limites sont au contraire imprécises et nous avons retenu, à la suite de M. DERRUAU (1949 *b*), les sables du Bourbonnais pour servir de confins au territoire limagnais ; ainsi, la limite nord de la Grande Limagne passe à la latitude du confluent de la Sioule avec l'Allier et du marais de Boucé.

Ce cadre géographique s'étend sur 90 km du sud au nord et sur 40 km de l'est à l'ouest dans ses dimensions maxima ; il couvre environ 2 600 km² dont le drainage est assuré par le collecteur principal : l'Allier.

2°) Le climat

En raison de sa situation géographique dans l'Occident européen, le Massif Central français est soumis à quatre influences climatiques principales : l'influence sud-atlantique, l'influence nord-atlantique, l'influence continentale et l'influence méditerranéenne ; suivant l'influence dominante, P. ESTIENNE (1958) a distingué des climats régionaux diversifiés. Lucien GACHON a insisté sur l'importance de l'influence méditerranéenne dans le régime climatique des Limagnes du Sud (1939) et de l'Auvergne toute entière (1946).

La plaine de la Grande Limagne, serrée entre des massifs de direction méridienne, largement ouverte vers le nord, a un climat caractérisé par sa continentalité. De grands écarts thermiques existent entre l'hiver et l'été mais aussi entre le jour et la nuit ; par exemple, l'amplitude des extrêmes absolus à dépassé 60° et même 65° au cours de la décade 1940-1949 (1), d'où le nombre élevé de jours de gelée (80 à 100 d'après l'Atlas de France).

(1) Les données climatiques sont issues de P. ESTIENNE (1958).

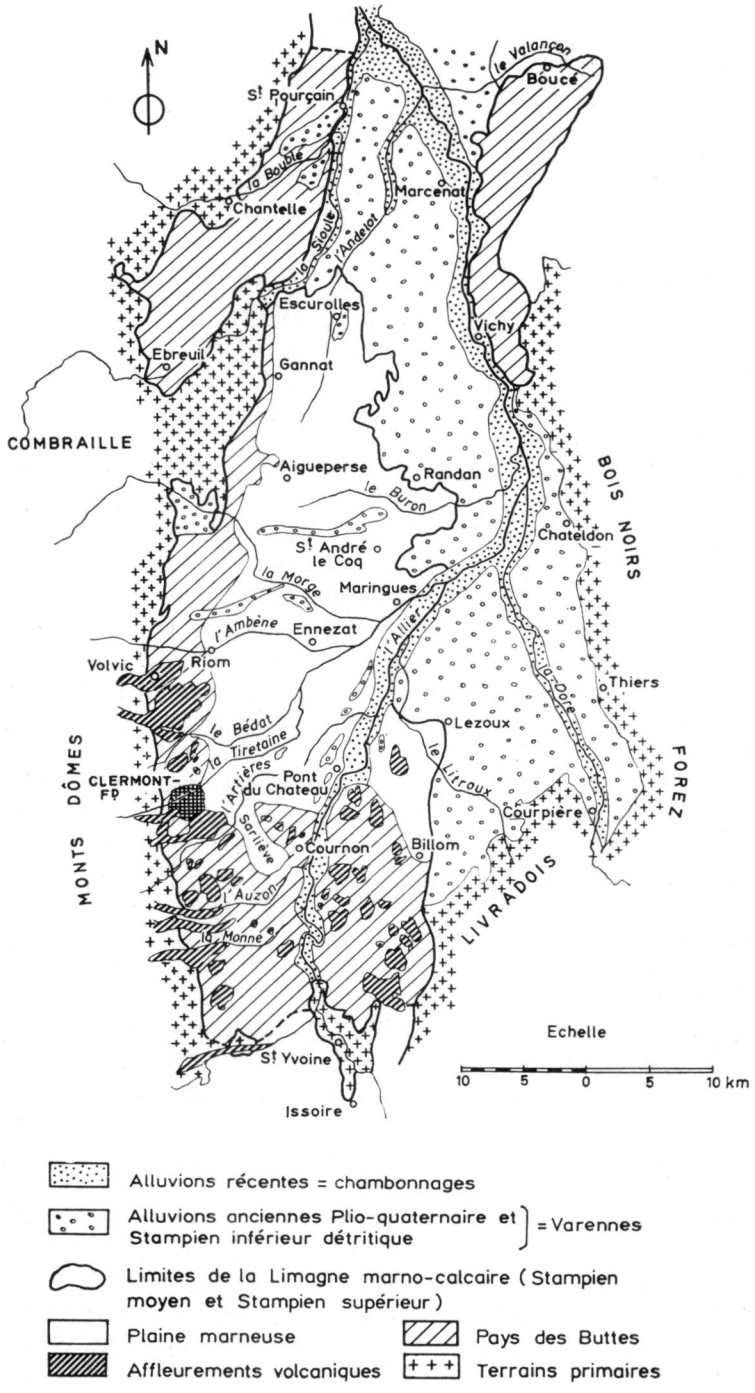


FIG. 1. — *La Grande Limagne : Limites géographiques, affleurements géologiques et régions naturelles*

Ces conditions thermiques sont défavorables aux cultures sensibles au froid, principalement les cultures fruitières ou maraîchères. A Clermont-Ferrand (Landais) les caractéristiques normales, annuelles et mensuelles, sont les suivantes :

Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuelle
Pluviométrie (en mm)												
28,0	31,8	40,2	53,6	68,2	78,3	62,3	66,1	68,4	57,2	45,5	41,2	640,8
Température moyenne (en degré C.)												
2,7	3,9	7,4	10,6	13,8	17,4	19,4	19,3	17,0	11,4	6,9	3,1	11,0

La continentalité climatique se marque aussi dans le régime des précipitations : sécheresse hivernale très accusée en janvier et février, pluies estivales abondantes mais irrégulières car de nature orageuse. Le maximum de saison chaude présente une pointe principale en juin et une pointe secondaire en septembre. Au contraire de la température, le régime pluviométrique est relativement favorable à l'agriculture, puisque la saison humide coïncide avec la saison chaude.

Mais la disposition géographique méridienne de la plaine limagnaise aboutit à une distribution différentielle de la pluie en raison des reliefs avoisinants. A l'ouest, les Monts Dômes jouent à l'égard des nuages atlantiques le rôle d'un écran condensateur très efficace. Aussi, la zone occidentale de la plaine est-elle la moins arrosée avec une pluviométrie annuelle moyenne de l'ordre de 600 mm. En s'approchant des massifs orientaux du Forez et des Bois Noirs les précipitations s'accroissent progressivement pour atteindre près de 1 m dès le pied de l'escarpement de faille (Thiers : 992 mm, Chateldon : 900 mm.)

Du sud au nord, les variations sont faibles et dépendent de la masse et de l'altitude de l'écran montagneux occidental. Le Pays des Buttes situé au sud de Clermont, en particulier la basse Couze-Chambon abritée par les Monts Dore, serait l'une des zones les plus sèches de toute l'Auvergne, avec une normale annuelle voisine de 550 mm seulement. Au nord de la plaine, les variations sont atténuées : Moulins, hors des Limagnes, reçoit 660 mm et Vichy doit à sa situation au pied de la Montagne Bourbonnaise d'être plus arrosé : 790 mm.

3°) Le substratum géologique

Toute l'histoire géologique de la Grande Limagne est tracée dans l'ouvrage que J. Jung (1946) a consacré à la géologie de l'Auvergne et de ses confins bourbonnais et limousins ; M. Roques (1949) l'a remarquablement résumée ultérieurement ; ces deux travaux sont les meilleures références auxquelles nous prions le lecteur de bien vouloir se reporter. Nous nous bornerons à rappeler la nature des affleurements limagnais en raison de l'intérêt qui s'y rattache pour toute étude consacrée aux phénomènes superficiels.

Les Limagnes sont des fossés d'effondrement contemporains de la surrection des chaînes pyrénéenne puis alpine et remblayés au cours de l'Oligocène par des sédiments fluviatiles, lacustres et lagunaires. Dans la Grande Limagne, la sédimentation est essentiellement d'âge stampien ; elle a débuté par des assises détritiques qui affleurent sur les bords, épisodiquement à l'ouest, beaucoup plus largement à l'est où elles impriment un cachet particulier à la « région des Varennes ». Avec le Stampien moyen, sont apparus des marnes et calcaires à *Cypris* et *Nystia*, faciès dominants des affleurements limagnais. Enfin, quelques niveaux supérieurs, conservés aux sommets des buttes sont formés de marno-calcaires à *Helix Ramondi* accompagnés de calcaires concrétionnés à Phryganes (cf. P. RAYNAL, 1953). Des lambeaux de calcaires aquitaniens terminent, çà et là, la série sédimentaire.

Les manifestations du volcanisme ont commencé en Limagne dès l'Oligocène et ont donné naissance à des roches curieuses appelées *pépérites* en raison de leur aspect contrasté dû à la présence d'éléments basaltiques foncés fondus dans un ciment calcaire blanchâtre. Selon R. MICHEL (1953) les pépérites se sont formées par émiettement d'une lave andésitique ou trachy-andésitique à travers les marno-calcaires stampiens. Elles présentent des modes de gisement très variés qui ont fait l'objet de plusieurs études de A. RUDEL (1938 et 1947). Au cours du Tertiaire récent, l'activité volcanique est plus importante et produit de nombreux necks et coulées.

Tous ces phénomènes volcaniques sont localisés à la partie méridionale de la Grande Limagne où ils ont ainsi ramené en surface des paquets de magma interne qui ont servi soit d'armatures (necks) soit de cuirasses (coulées) aux sédiments marno-calcaires ainsi protégés. Le volcanisme est donc le principal responsable du relief en buttes qui caractérise cette zone limagnaise.

Les nappes d'alluvions pliocènes et quaternaires qui jalonnent le cours de l'Allier et de ses principaux affluents limagnais ont exercé le même rôle protecteur vis-à-vis des marno-calcaires stampiens ; elles sont aujourd'hui en position haute à l'exception des alluvions les plus récentes. Elles couvrent une partie importante du territoire principalement dans la partie nord et est de la Limagne. Elles sont souvent de nature caillouteuse.

4°) L'aspect morphologique actuel

La Grande Limagne présente des aspects morphologiques diversifiés qui sont liés à son origine de fossé tectonique, à la nature pétrographique de ses sédiments tertiaires et aux phénomènes volcaniques et sédimentaires ayant affecté son territoire et ses abords immédiats.

C'est évidemment à la suite de son effondrement tertiaire que le fossé limagnais s'est rempli de sédiments. Mais, ultérieurement, de multiples cycles d'érosion et de sédimentation ont exercé des actions différentielles en fonction du degré de résistance des roches, dégageant ainsi des formes structurales.

Il résulte de ces actions successives que la Grande Limagne présente trois types de paysages caractéristiques. D'abord, à la périphérie, en particulier au sud et à l'ouest, une région de buttes avec des pentes fortes, de l'ordre de 10 à 25 p. 100, qui doivent leur existence à la présence de necks ou d'entablements volcaniques tertiaires. Ou encore, au nord et au nord-ouest, à des calcaires récifaux plus durs. Ces reliefs s'élèvent jusqu'à l'altitude de 700 m environ.

Ensuite, une zone aux formes plus douces correspond aux sédiments détritiques du Stampien et aux nappes alluviales du Pliocène et du Quaternaire et comprend presque toute la moitié est de la plaine, de part et d'autre de l'Allier.

Enfin, au centre, c'est la plaine marneuse aux formes très amples, très émoussées, où sont localisés les « marais » dans lesquels la pente longitudinale des talwegs diminue jusqu'à moins de 1 p. 1 000. Ce territoire est généralement compris entre 350 et 300 m d'altitude mais s'abaisse même au-dessous de cette dernière cote dans la partie septentrionale.

5°) Les régions naturelles

Les traits morphologiques dominants ont servi à M. DERRUAU (1949) à définir les régions naturelles de la Grande Limagne.

a) *Le Pays des Buttes* s'étend sur toute la zone située en latitude au sud de Clermont, y compris la Comté, et englobe ainsi presque toutes les manifestations du volcanisme oligocène. Il s'y rattache le bord occidental qui, de Clermont à Volvic, s'appuie au Pays des Dômes dont il a reçu des cuirasses de laves de tous âges ; enfin, les bordures nord-occidentale et nord-orientale où le relief résulte de calcaires récifaux.

A l'exception des entablements laviques et des pointements éruptifs, l'ensemble de ces régions porte des sols argileux et calcaires. Il pourrait être désigné en Auvergne comme le pays du Vin puisqu'il possédait la plupart des 45 000 ha qu'a comptés le vignoble auvergnat, à la fin du XIXe siècle, époque de son développement maximum. C'est là aussi qu'aujourd'hui l'abandon du sol est le plus marqué, autant à la suite du malaise agricole dans son ensemble que de la crise viticole proprement dite, car des reconversions seraient possibles.

b) *La plaine marneuse* est à rapprocher du Pays des Buttes en ce sens que son socle géologique est formé de roches de même nature. Seule la morphologie est différente en raison de l'absence d'armatures volcaniques et c'est là un point important.

Elle couvre un territoire de 600 km² qui s'étend d'un seul ensemble grossièrement triangulaire dont les sommets seraient Escurolles dans l'Allier, Clermont et Lezoux au sud. Plus au nord, les formations marneuses sont imbriquées dans le faisceau des terrasses anciennes de la Sioule. Région aux formes plates ou à peine vallonnées, la plaine marneuse, centrée sur l'ombilic limagnais est une zone de grande culture par excellence, réputée de temps immémorial par ses aptitudes céréalières.

c) *Les Varennes et les Chambonnages* occupent presque toute la moitié orientale de la Grande Limagne, sur une superficie de l'ordre de 900 km². Ils présentent un paysage tout différent parce que le socle y est de nature détritique.

Les Varennes s'étendent sur les assises sableuses du Stampien inférieur et sur les alluvions anciennes du Pliocène et du Quaternaire. Elles portent des forêts (Lezoux, Randan, Marcenat) sur les nappes les plus caillouteuses. Elles offrent ailleurs un paysage bocager. L'évolution podzolique subie par les sols de Varennes aboutit à la superposition d'un horizon sableux appauvri sur un sous-sol argileux, c'est-à-dire à un profil pédologique où les cultures souffrent de l'excès d'eau au printemps puis de la sécheresse estivale.

Les Chambonnages s'étalent sur les bourrelets d'alluvions récentes qui accompagnent l'Allier, la Sioule et la Dore. Ils sont formés de sédiments généralement plus

fins. Ils portent des sols épais, bien équilibrés physiquement qui présentent des caractères intermédiaires entre les sols argilo-calcaires de la plaine marneuse et des Buttes et les sols siliceux et acides des Varennes. Le système de culture y est peu différent de celui de la plaine.

6°) Conclusion : définition du périmètre étudié

Ainsi, abstraction faite des affleurements volcaniques qui occupent une surface négligeable, le territoire de la Grande Limagne est partagé suivant deux grands types de formations géologiques : d'une part, des marnes et des calcaires qui donnent naissance à des sols lourds et argileux, d'autre part des sédiments détritiques qui engendrent des sols légers et grossiers.

Pour demeurer dans un ensemble pédologique homogène, nous avons volontairement limité notre étude au *territoire marno-calcaire de la Grande Limagne*, c'est-à-dire au Pays des Buttes et à la plaine marneuse. Le cadre géographique de notre travail conserve ainsi au sud et à l'ouest les limites de la Limagne précédemment définies, mais s'arrête à l'est suivant une ligne passant par Billom-Lezoux-Randan-Escurolles-Saint-Pourçain. A cet ensemble se rattachent les coteaux de la rive droite de l'Allier entre Vichy et Boucé.

CHAPITRE II

HISTORIQUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA MORPHOGENÈSE ET LA PÉDOGENÈSE DE LA LIMAGNE MARNO-CALCAIRE

1°) La morphogenèse

La morphogenèse de la Grande Limagne a fait l'objet de la thèse complémentaire de M. DERRUAU (1949 *b*) qui constitue notre référence de base. Ce sont évidemment les derniers épisodes de l'histoire morphogénique tracée par cet auteur qui ont retenu notre attention ; en particulier, le problème de l'origine des « marais » fournit le point de départ de notre étude car il concerne des formes caractéristiques qui supportent les sols les plus typiques de Limagne, les fameuses « Terres Noires ».

L'histoire morphogénique a été résumée en peu de mots par M. DERRUAU auquel nous empruntons partiellement les conclusions. Si la tectonique est à l'origine de la Limagne et explique la morphologie de ses bordures, « les éléments structuraux constituent au contraire l'essentiel du relief à l'intérieur de la Limagne. C'est la résistance des roches qui a plus ou moins retardé le travail de l'érosion et le dégagement du fossé » (p. 169).

Pour expliquer *la formation des marais* limagnais, M. DERRUAU ouvre une longue discussion et écarte successivement l'hypothèse d'un creusement par dissolution des marnes, celle d'un affaissement tectonique proposée par J. JUNG (1946) et celle d'une obturation alluviale qu'il admet cependant dans le cas exceptionnel du marais de Sarlième. S'appuyant sur le fait que « tous les marais se sont établis à l'altitude relative + 16-18 m » par rapport à l'Allier, M. DERRUAU retient finalement l'hypothèse d'un *creusement paléoclimatique* et conclut que le « marais s'est donc formé par érosion régressive, en fonction de la terrasse de 15-20 m, à une époque où les cours d'eau avaient un rapport charge/débit plus faible qu'aujourd'hui, pendant la période wurmienne, avant le Magdalénien » (p. 165).

Cette dernière précision chronologique résulte du fait que, selon M. DERRUAU le marais de Sarlième aurait été barré postérieurement à son creusement par le cône alluvial de l'Artières qui serait d'âge magdalénien. L'étude morphogénique de M. DERRUAU se termine ainsi avec la « phase de déglaciation magdalénienne » au cours de laquelle se seraient construits les cônes alluviaux de piémont. Cependant, les morsures de l'érosion ne paraissent pas s'être éteintes avec l'arrivée du Postglaciaire puisque M. DERRUAU a remarqué lui-même que « le renouvellement des sols est rapide sur les versants fortement inclinés » (p. 69). Nous reviendrons donc sur ces derniers points dans le prochain chapitre.

2°) La pédogenèse

Les études consacrées aux « Terres Noires » de Limagne ont donné naissance à de nombreuses hypothèses aussi bien sur leur mode de formation que sur leur âge.

a) La formation des « Terres Noires »

Elle résulterait, suivant les auteurs, de processus autogènes, ou seulement allogènes, mais le plus souvent de processus combinés.

Parmi les tenants de la formation sur place, on trouve V. Agavonoff (1926) qui a étudié deux profils de « Terres Noires » situés au pied du puy de Crouelle et reposant sur des alluvions récentes riches en scories volcaniques andésitiques. Cet auteur déduit qu'il s'agit de sols azonaux « formés par décomposition de différentes projections volcaniques ».

Lucien Gachon (1931) est frappé par la continentalité du climat limagnais et fait des « Terres Noires » un sol de steppe analogue aux chernozems.

A la suite d'observations effectuées dans la région de Sarlièvе, L. Glangeaud (1940) concilie en quelque sorte les deux hypothèses précédentes puisqu'il conclut à l'influence des éléments volcaniques apportés de la Chaîne des Puys par voie alluviale et à l'influence paléoclimatique ; il invoque aussi l'action du vent pour réaliser ultérieurement leur dispersion.

Les auteurs qui attribuent aux « Terres Noires » une origine allochtone sont plus nombreux. La conception admise au XIXe siècle est celle énoncée en 1867 par H. Lecoq suivant laquelle les « Terres Noires » seraient des formations limoneuses et vaseuses déposées par les rivières lors de leurs crues, fécondées en outre par des cendres volcaniques transportées par le vent qui seraient la cause de leur couleur et de leur fertilité. L'enrichissement par les cendres volcaniques est contesté par R. Chavastelon et D. Elouard (1925) à la suite d'analyses chimiques qui n'auraient pas révélé de richesse particulière en acide phosphorique.

Pourtant, l'apport volcanique éolien est confirmé en 1936 par J. Jung et P. Delaunay qui découvrent dans les « Terres Noires » la présence de larmes et cheveux de verre volcanique sédimentés par voie aérienne lors des dernières éruptions.

Après une étude analytique appréciable, P. Delaunay (1936) réfute l'assimilation des « Terres Noires » aux chernozems en raison de leur teneur nettement plus faible en matières organiques mais admet que le climat est favorable à une dynamique ascendante. Il signale la présence d'éléments volcaniques et aussi granitiques qui résulteraient d'apports alluviaux. Il rattache leur couleur noire plus à la nature particulière de l'humus qu'à l'abondance de minéraux foncés. Enfin, il est le premier à souligner que l'épaisseur des « Terres Noires » est liée à la topographie. En collaboration avec H. Erhart, P. Delaunay (1938) renouvelle ses conceptions à l'occasion d'un sondage observé à Aulnat et précise que le fort pouvoir colorant de l'humus des « Terres Noires » serait dû à sa formation dans des conditions marécageuses, hypothèse confirmée en 1940 par H. Malterre. Dans son ouvrage sur la géologie de l'Auvergne, J. Jung (1946) reprend les conclusions de P. Delaunay en écrivant qu' « il s'agit d'un dépôt typique de marais » (p. 271).

De même, G. GUYON (1947) énonce que « les Terres Noires » n'ont rien à voir avec la roche géologique calcaire sous-jacente » mais sont surtout des « sols de transport, composés d'éléments granitiques, volcaniques, calcaires et argileux arrachés aux reliefs voisins et apportés par les eaux de ruissellement et par les rivières » (p. 98). Il admet, en outre, la possibilité d'apports éoliens.

La conclusion adoptée par M. DERRUAU (1949 *a*) est peu différente qui fait des « Terres Noires » « un complexe d'apports alluviaux, colluviaux, éoliens, sédimentés temporairement sous la forme de vases de marais, et transformés par les oscillations de la nappe riche en chaux » (p. 76) et qui les rapproche des smonitsi ; il signale la présence de « Terres Noires » hors des parties basses de la plaine, d'où elles se seraient dispersées par action éolienne.

Enfin, dans sa thèse principale parue en 1949, D. COLLIER a le mérite de mettre en évidence l'analogie de constitution entre les « Terres Noires » et les sols argilo-calcaires des coteaux limagnais. S'il confirme la présence d'éléments étrangers, granitiques et volcaniques, d'origine alluviale en priorité, il démontre que les « Terres Noires » sont des sols qui dérivent des marno-calcaires stampiens. D'où s'explique la richesse en argile et la saturation calcique du complexe absorbant qui sont leurs caractères les plus remarquables.

Pour D. COLLIER, les « Terres Noires » sont donc des « sols rendziniformes de transport fluviatile ou continental » (p. 74), c'est-à-dire des sols peu évolués formés par érosion des sols argilo-calcaires des pentes et accumulés dans les fonds humides dont le milieu peu aérobie aurait favorisé le développement d'humus très colorés. Ainsi s'explique aisément la liaison entre l'épaisseur des « Terres Noires » et leur situation topographique.

b) LA DATATION DES « TERRES NOIRES »

Elle a soulevé des divergences aussi nombreuses que les hypothèses pédogéniques formulées puisqu'elle dépend des processus invoqués.

L. GLANGEAUD (1940), favorable à l'hypothèse paléoclimatique, place « au Flandrien, principalement pendant les périodes de climat boréal et subboréal de BLYTT-SERNANDER [1] », l'apparition de la plus grande partie des « Terres Noires ». Ultérieurement, ces sols primitifs auraient été remaniés par le vent et « déposés au pied des coteaux, au-delà des alluvions, sur les calcaires stampiens. » L. GLANGEAUD en conclut que les « Terres Noires » ne peuvent pas être « exactement » contemporaines des dernières éruptions volcaniques de la Chaîne des Puys, selon l'opinion formulée par LECOQ en 1867 et admise par H. ERHART et P. DELAUNAY (1938).

J. JUNG (1946) émet un avis différent en situant la formation des « Terres Noires » au Flandrien moyen, pendant la période de climat atlantique, chaude et pluvieuse, et il ajoute qu' « elles représentent le produit du lessivage des limons formés sur les pentes, pendant la période froide et sèche du Renne » (p. 272), les « Terres Noires » résulteraient donc de l'évolution in situ des limons colluvionnés.

M. DERRUAU (1949 *a*) estime que les « Terres Noires » sont postérieures au creu-

[1] Les deux périodes sont considérées comme des périodes de climat sec dans l'échelle climatique de BLYTT-SERNANDER, indiquée au tableau 19 p. 141.

sement wurmien, et se sont donc « formées du Magdalénien à nos jours » (p. 77). C'est également l'opinion formulée par A. RUDEL (1951).

D. COLLIER a aussi exprimé ses idées sur le Quaternaire récent de la Limagne — à titre hypothétique précise-t-il. — Il pense que les « Terres Noires » se seraient formées après le Néolithique « à la faveur du climat plus chaud et plus sec ». « Enfin, le climat tempéré humide qui suivit » aurait permis « une érosion *ménagée* des sols calcaires » (p. 66), alimentant ainsi de sols colluvionnés le territoire des basses plaines devenues marécageuses.

Une publication de G. LEMEE (1954) apporte des éléments de chronologie relative fondée sur l'analyse pollinique. Cet auteur constate que le dépôt des « Terres Noires » se serait effectué tout au long du Postglaciaire puis qu'il le date de la période boréale à Marmillat et de la période subboréale à Lempdes.

Enfin, H. et G. TERMIER (1960) ont émis l'hypothèse que « les Terres Noires de Limagne sont des sols tourbeux élaborés lors du réchauffement d'Alleröd » (p. 181) c'est-à-dire antérieurement au Postglaciaire, contrairement à toutes les opinions précédentes.

CHAPITRE III

OBSERVATIONS NOUVELLES ET DISCUSSION

Malgré les nombreuses divergences formulées, la rétrospective précédente met en évidence quelques points fondamentaux :

— Les sols de Limagne sont de formation récente mais leur datation demande à être précisée ;

— Ils ont subi les morsures de l'érosion comme l'attestent leur variation d'épaisseur en fonction de la situation topographique ; la morphogenèse de la Limagne ne s'est donc pas terminée avec le creusement wurmien des marais.

1°) Les sols

En démontrant la relation génétique des sols argilo-calcaires de Limagne aux marno-calcaires stampiens, D. COLLIER a résolu le problème de l'origine de ces sols. Il a distingué trois catégories de sols qu'il a reliées les unes aux autres en les enchaînant dans une toposéquence : rendzines et sols bruns calcaires des sommets et des pentes calcaires, sols colluviaux des pentes faibles et des vallées profondes, « sols rendziniformes de transport fluviatile ou continental » dans les basses plaines (= « Terres Noires »). Ces derniers sols différeraient des précédents par « leur moindre richesse en éléments grossiers et en carbonate de chaux, une proportion encore plus forte de colloïdes et par une coloration noire plus accentuée due à des conditions de milieu plus nettement anaérobie » (D. COLLIER, 1949, p. 59).

Mais les caractères différentiels énumérés et les processus génétiques invoqués se heurtent à un certain nombre d'observations contradictoires si bien que le schéma génétique de D. COLLIER demande à être complété pour être applicable à l'ensemble du territoire marno-calcaire de la Grande Limagne.

a) Les basses plaines de la Limagne ne portent pas partout des « Terres Noires » suivant la définition de D. COLLIER. Par exemple, les sols du marais de Sarliève qui contiennent plus de 40 p. 100 de calcaire, présentent une constitution identique à celle des sols colluviaux des pentes ; leur charge de CO_3Ca atténue fortement leur teinte à un tel point que M. DERRUAU refuse de les considérer comme de « vraies Terres Noires ».

Inversement, on trouve aussi des sols à la fois très foncés et très riches en carbonate de calcium, dans la région de Seychalles notamment.

b) Il existe dans certains « marais » de Limagne, par exemple à Surat-Saint-

André-le-Coq [1], des « Terres Noires » dont on peut penser qu'elles ne doivent rien au colluvionnement en raison de leur faible épaisseur : 0,3 à 0,4 m.

c) Ainsi que l'a signalé M. DERRUAU (1949 *a*), il existe quelques « Terres Noires » situées en position élevée au-dessus de la plaine marneuse qui reposent sur des alluvions sableuses et dont la genèse ne peut s'expliquer ni par évolution à partir de la roche sous-jacente, ni par transport colluvial ou alluvial. Force est d'envisager l'hypothèse d'un transport éolien formulée par M. DERRUAU.

d) Enfin, nous avons exceptionnellement trouvé des « Terres Noires » enfouies sous des formations sableuses ou marneuses. Ces nouvelles observations stratigraphiques apportent donc une restriction à l'affirmation de D. COLLIER suivant laquelle les « Terres Noires » sont toujours superficielles. Elles sont à rapprocher du fait que dans de nombreux profils de sols limagnais, les niveaux inférieurs présentent souvent la teinte la plus foncée, ce qui semble normal dans les marais mais ne l'est plus sur les pentes.

A la lumière de ces faits complémentaires, le schéma dressé par D. COLLIER pour expliquer la genèse des sols de Limagne apparaît donc incomplet. Nous tenterons de démontrer que, suivant l'environnement topographique, il existe en Limagne, y compris dans les parties basses, des sols autochtones et des sols allochtones ayant subi des transports colluviaux ou éoliens. En raison de la dualité des processus qui opposent la pédogenèse et la morphogenèse, nos recherches s'appuieront plus particulièrement sur deux éléments que nous considérons à priori comme essentiels : d'abord le taux de carbonates, premier indice du degré d'évolution des sols dérivés des roches calcaires ; ensuite l'épaisseur du sol, témoin de l'intensité de l'érosion et de l'accumulation.

Enfin, en raison des analogies de constitution entre tous les sols du périmètre marno-calcaire de la Grande Limagne, nous pensons que l'application du terme de « Terres Noires » aux seuls sols des basses plaines est trop restrictif en même temps qu'il est source de confusion. Certes, un essai statistique de D. COLLIER (1944) a montré que la couleur permettait de distinguer les quatre grandes familles de sols du Puy-de-Dôme : sols argilo-calcaires, sols volcaniques, sols granitiques et sols arkosiques. Mais, à l'intérieur de ces catégories majeures, en particulier dans les sols argilo-calcaires de Limagne, la couleur change très progressivement, généralement en fonction de la situation topographique, par exemple en passant des sols hydromorphes de la plaine aux sols de coteaux. Nous avons déjà dit que certains sols de marais sont relativement clairs alors qu'on trouve des sols foncés sur des replats de versant. Nous éviterons donc d'employer le terme de « Terres Noires » ou alors nous lui accorderons le sens général de sol argilo-calcaire à couleur grise ou noire dominante (inclus des profils partiellement ou totalement décarbonatés).

2°) Le substratum

Comme l'ont évidemment constaté certains auteurs qui les ont étudiés, les sols limagnais reposent sur un support très varié puisqu'on trouve aussi bien des marnes que des sables. Ce fait fournit l'argument essentiel en faveur de l'origine allochtone

[1] Le marais de Saint-André-le-Coq, Surat, Saint-Ignat est connu localement sous le terme de marais des Javouls.

des « Terres Noires ». Malgré cela, nous verrons que la nature du substratum influe partiellement sur les caractères du sol, en particulier sur la constitution granulométrique.

a) Les sables

Le long des ruisseaux, plus particulièrement à l'amont de leur tronçon limagnais, les alluvions représentent le substratum habituel du sol. Ainsi, les profils étudiés en 1926 par V. Agavonoff, et ceux de Crouelle et de Chappes analysés par D. Collier (1949).

Mais on observe aussi parfois des « Terres Noires » superposées à des sables volcaniques en dehors du périmètre qui a pu être inondé au cours du Postglaciaire par les rivières traversant la Limagne. Dans ces situations singulières, on est amené à penser qu'il s'agit de projections volcaniques directes rassemblées en traînées ou lentilles par le ruissellement mais non parvenues jusqu'aux collecteurs. De tels profils jalonnent le pied des terrasses de l'Allier de Lempdes à Cormède ; nous en avons également observé au pied des coteaux de Gandaillat, sur certains replats du versant occidental de la Limagne, dans les fouilles de constructions à Chamalières et à Clermont (Vallières).

b) Les marno-calcaires

Les sédiments stampiens marno-calcaires forment le substratum de beaucoup le plus étendu et D. Collier a eu raison d'insister sur le fait que les sols argilo-calcaires de Limagne sont précisément localisés au périmètre de cette formation géologique. Il suffit pour s'en convaincre de constater le contraste saisissant qui survient en quelques hectomètres lorsqu'on passe de la plaine marneuse au pays des Varennes, en particulier à proximité de Lezoux. Et plus encore dans le marais de Boucé où les sols colluvionnés sont noirs et calcaires seulement vers le bord méridional qui s'appuie sur le massif de calcaires chattiens de Saint-Gérand-le-Puy ; les transitions se font là sur quelques décamètres et parfois on trouve sur un même profil des couches colluviales d'origine distincte.

L'observation minutieuse révèle aussi que le substratum marneux n'est généralement pas en place. De tels remaniements sont déjà signalés par D. Collier (1949) qui note la présence d'éléments étrangers volcaniques ou granitiques ; mais à cet égard il ne faut pas oublier que les marno-calcaires stampiens peuvent contenir du quartz et même des éléments volcaniques lorsqu'ils ont été « pépéritisés ». A. Rudel (1951) rapporte aussi les marques d'action périglaciaires subies par les marnes ou les cailloutis qui supportent les sols limagnais.

Il résulte de nos observations personnelles que le remaniement du sommet des marno-calcaires est un phénomène *généralisé* et que les sols de Limagne reposent rarement sur un substratum en place. Le long des pentes adossées à un neck ou à un entablement de laves, le substratum marneux contient des éléments volcaniques épars. Au pied des terrasses déchaussées par l'érosion, c'est la présence de sables ou de galets qui attestent formellement le remaniement ; enfin, dans les parties basses ce sont encore des sables granitiques ou volcaniques (P. Delaunay, 1936, D. Collier, 1949).

En l'absence d'éléments étrangers aux sédiments stampiens, le remaniement du substratum est plus délicat à mettre en évidence car les seuls indices relèvent d'un changement de structure. Alors, on constate seulement qu'il existe, entre le sol et les marno-calcaires lités, une formation intermédiaire, sans stratification ni ordonnancement particulier, constituée par des fragments calcaires hétérométriques englobés dans une pâte argileuse. Pour traduire ce remaniement dont l'agent essentiel semble être l'eau, à l'état liquide ou solide, nous avons désigné cette formation sous le nom de « limon argilo-calcaire » (D. COLLIER et L. GACHON, 1955) par analogie avec le terme de limon des plateaux du Bassin Parisien attribué par les géologues aux dépôts éoliens quaternaires et aux dépôts d'altération plus ou moins remaniés par ruissellement qui en dérivent. Pour éviter toute confusion, nous avons systématiquement proscrit l'emploi du terme de limon suivant le sens granulométrique généralement adopté par les pédologues.

Un autre caractère des marno-calcaires remaniés mérite d'être souligné. Comme l'avait déjà remarqué D. COLLIER (1949), contrairement aux marnes en place, les limons sont « toujours très plastiques à l'état humide » parce qu'ils présentent « une matière argileuse plus aisément dispersable » (p. 32). Cette propriété résulte également de l'action de l'eau, en particulier des alternances gel-dégel, et confirme l'intérêt de distinguer les limons des marno-calcaires.

Mais nous devons préciser que le changement de structure et la dispersion des éléments colloïdaux ne dépend pas nécessairement d'un transport. Ainsi, nous avons observé dans la carrière des fours à chaux de Joze des couches de marnes pulvérulentes insérées entre des bancs de calcaires compacts et sans aucune trace de litage. En examinant la coupe de près, il apparaît que seule est affectée la tranche superficielle du profil soumises aux agents externes. Nous avons rencontré des cas plus curieux encore, par exemple à l'est d'Artonne, à l'occasion de la mise en place des canalisations du gaz de Lacq, nous avons vu des limons ocreux interstratifiés dans des bancs calcaires avec un biseau d'affleurement passant au sol sans discontinuité apparente.

En conséquence, si les limons sont des formations argilo-calcaires non structurées ou faiblement structurées, la réciproque n'est pas absolue.

Par ailleurs, l'observation atteste que l'épaisseur des limons est en relation directe avec l'environnement topographique — tout comme les sols. L'accumulation des limons est la plus grande dans toutes les situations de piémont (1) et dans les vallons devenus inactifs parce que sous-adaptés après le dernier creusement wurmien. Les sondages profonds exécutés à travers les nappes d'alluvions récentes des ruisseaux limagnais montrent également que les limons servent généralement de support aux sables avec lesquels ils sont en outre souvent interstratifiés.

Enfin, vers le haut des pentes, aux emplacements les plus sensibles à l'érosion, le manteau de limons a été totalement décapé ; des sols argilo-calcaires, très jeunes, reposent directement sur les marno-calcaires, observation déjà formulée par D. COLLIER (1949).

(1) Nous prenons le terme de piémont en son sens littéral qui résulte de l'accouplement de deux mots : pied-mont ; nous laissons tomber la lettre *d* parce qu'elle n'est pas prononcée. Les piémonts se rencontrent au bas des reliefs qui bordent la plaine ou qui l'accidentent elle-même. Ils raccordent les pentes fortes à leur amont aux pentes faibles et très faibles à leur aval.

3°) Les rapports stratigraphiques des formations superficielles

Les formations superficielles de la Limagne sont donc au nombre de trois : des *sables*, le plus souvent de texture fine parce que transportés par des cours d'eau de faible puissance, des *limons* et des *sols argilo-calcaires*.

A ces formations meubles plus ou moins remaniées, il faut ajouter les roches en place : les *marno-calcaires stampiens* seulement puisque nous avons exclu de notre étude les roches éruptives et leurs couvertures pédologiques.

De l'ensemble de nos observations, nous dégageons les faits stratigraphiques suivants :

a) Les limons sont sous-jacents aux nappes alluviales les plus récentes et sont souvent interstratifiés avec ces sables, surtout vers la base.

b) Les sables volcaniques trouvés en Limagne hors du périmètre des lits majeurs des cours d'eau qui traversent la plaine, sont toujours placés à la partie supérieure des limons.

c) Sauf exception rarissime, les sols argilo-calcaires ne sont pas enterrés sous des limons ou des alluvions sableuses.

d) Dans l'épaisseur du sol, les niveaux archéologiques gallo-romains sont localisés généralement au tiers inférieur du profil.

4°) Les phases morphogéniques de la fin du Quaternaire

Les indications stratigraphiques précédentes permettent de formuler des hypothèses sur les diverses phases qui ont affecté successivement la Limagne depuis le dernier creusement wurmien.

Après la dernière phase de creusement, la plaine de Limagne aurait subi un premier ennoyage de limons. Ce manteau limoneux généralisé résulterait de la désagrégation des marno-calcaires au cours de la période froide et sèche du Tardiglaciaire. De multiples remaniements l'auraient affecté soit par cryoturbation dans les zones plates, soit par solifluxion sur les pentes. D'où le colluvionnement lié à la topographie.

Les nappes d'alluvions récentes se seraient mises en place après le début du colluvionnement limoneux ; leur dépôt se serait poursuivi plus tardivement jusqu'au Postglaciaire.

Les sables volcaniques situés hors des lits majeurs pourraient être des projections directes déposées puis rassemblées avant toute formation de « Terres Noires ».

Au cours du Postglaciaire, une végétation forestière aurait couvert progressivement la Limagne assurant une grande stabilité morphologique, et une intense activité pédogénique, traduite par l'élaboration d'un manteau de sols bruns peu ou pas calcaires.

Enfin, la reprise de l'érosion des versants et le colluvionnement consécutif des sols résulteraient d'actions anthropiques.

CHAPITRE IV

LES TECHNIQUES UTILISÉES

Pour conduire notre travail, nous avons eu recours, à la fois, à des mesures sur le terrain et à des analyses au laboratoire.

Dans un sujet où les facteurs d'action incriminés sont si nombreux, il nous est apparu du plus haut intérêt de disposer du plus grand nombre de mesures afin d'éviter de bâtir des hypothèses sur quelques cas d'espèces. Nous avons donc préféré accumuler de nombreux renseignements à partir de techniques simples et approfondir seulement l'étude de quelques profils ou matériaux judicieusement choisis (cas généraux et cas particulier).

A. — Les observations et mesures sur le terrain

Notre étude étant consacrée aux formations meubles superficielles, nous avons parcouru le territoire étudié pour rechercher les coupes existantes. Les carrières d'exploitation sont rares en Limagne car l'utilisation des sédiments stampiens est limitée à la production de chaux ou de calcaire broyé à usage agricole. Par contre, les fossés d'assainissement réalisent de bonnes conditions d'observation lorsqu'ils viennent d'être ouverts ou réfectionnés car leurs parois s'altèrent rapidement par éboulement ; les années de 1956 à 1962 nous ont été favorables à cet égard. Le plus souvent, ces fossés creusés jusqu'à 1 m-1,50 m sont suffisamment profonds pour atteindre le substratum en place ou tout au moins les marno-calcaires remaniés Ils ont permis des observations directes fructueuses quant à la nature et à l'épaisseur des diverses formations de surface, guidant ainsi le choix des points de prélèvement.

En l'absence de tranchée, nous avons eu recours à la tarière pédologique qui a été pour nous un précieux auxiliaire car elle nous a permis de traverser et d'inventorier la plupart des formations meubles jusqu'à 6 et même 7 m de profondeur.

Mais, avec ce matériel, il est difficile de sonder à travers les sables grossiers gorgés d'eau dont l'absence de cohésion entraîne l'obturation de la cheminée de sondage par éboulement des parois. De même, dans les alluvions caillouteuses, la tarière est souvent bloquée par un gros galet. Dans les limons, la pénétration est progressivement ralentie jusqu'à s'annuler alors que la sonde ramène en surface un matériau sec et pulvérulent. En sondant immédiatement à l'arrière de fronts de coupes offerts par des chemins encaissés ou par des fossés, nous avons vérifié que le niveau d'arrêt de la tarière correspondait à la limite du limon et des marno-calcaires en place. En conséquence, malgré les risques encourus, nous avons considéré comme la base

des limons la profondeur maximum à laquelle il est possible d'enfoncer la sonde ; de toute façon, cette limite traduit un véritable changement d'état.

Si l'emploi de la tarière pédologique est avantageux par ses possibilités d'exploration en profondeur, il présente aussi des inconvénients dont les plus importants sont la destruction de la structure des sédiments ou des sols et les risques de pollution entre niveaux superposés, dangers aggravés sous la nappe phréatique. La précision des observations en est diminuée qui ne permet pas de déceler l'existence de strates de faible épaisseur surtout au milieu des sables où les parois du sondage sont discontinues. Dans les matériaux argileux, les risques sont certainement moindres si l'on prend soin d'enfoncer la sonde lentement et en appuyant fortement pour que l'embout hélicoïdal morde au maximum.

Les observations sur le terrain ont porté, pour chaque couche, sur l'épaisseur, l'aspect structural et textural, la présence ou l'absence de carbonates et d'efflorescences, sommairement la couleur. Nous avons noté la nature pétrographique des sables et des graviers, les organismes discernables à l'œil ou à la loupe que nous reconnaissions. Enfin, nous avons mesuré la pente du sol au clisimètre qui donne une précision de l'ordre de 0,5 p. 100. Dans les parties plates, cette précision est très insuffisante et nous avons eu recours aux levés topographiques dont disposent les Services du Génie Rural (1). En l'absence de tels documents, nous avons exécuté quelques levées topographiques à l'aide d'un omnimètre à collimateur et d'une chaîne d'arpenteur.

B. — Le prélèvement des échantillons

Le prélèvement des échantillons constitue le lien indispensable qui permet de compléter au laboratoire les observations faites sur le terrain. Dans la mesure du possible, nos échantillons d'analyse proviennent de coupes fraîches. Dans quelques situations où l'étude du profil exigeait des prélèvements serrés et absolument indemnes de pollution, nous avons creusé des fosses, non sans difficultés en présence de nappe phréatique (profil 3106 de Marmillat).

Nous avons, cependant, effectué certains prélèvements à l'aide de la tarière pédologique ; par exemple, lorsque nous avons multiplié les profils analysés en vue d'étudier la distribution dans l'espace de certains caractères tels que le taux de carbonates. Cet instrument est irremplaçable pour les prélèvements effectués à plusieurs mètres de profondeur.

En fait, la pollution ne peut exister que dans le sens de pénétration de la sonde, des éléments de la paroi risquant soit de s'ébouler soit de se fixer sur l'extérieur de la sonde au cours de la remontée. Mais si l'on prend la précaution s'effectuer le prélèvement dans l'axe du corps de sonde, on évite la pollution de manière satisfaisante, tout au moins dans les sédiments argileux comme nous avons pu le vérifier au cours d'analyses polliniques du profil 3066 provenant du marais de Lignat.

Dans ce profil, nous avons rencontré entre 2 m et 2,5 m de profondeur, des niveaux riches en spores et en pollens de Nymphéa et bourrés de petits organismes unicellulaires non identifiés en forme de disque aplati au centre, de 15 à 20 μ de diamètre et de 2 μ d'épaisseur maximum. Après une transition de 15 à 20 cm de

(1) Nous exprimons notre reconnaissance à notre camarade, J. PÉRIGAUD, ingénieur en chef, qui nous a permis de consulter la documentation des Services du Génie Rural de Clermont.

profondeur, correspondant à l'extraction d'une carotte de sondage, nous avons pénétré dans le limon beige constituant le substratum. Les prélèvements effectués dans ce limon à partir des carottes suivantes, soit vers 2,8 m et 3 m, sont virtuellement indemnes de Nymphéa, de spores et des microorganismes incriminés. Ce test est d'autant plus probant que les échantillons proviennent de carottes prélevées dans la nappe phréatique, milieu très favorable à la dispersion d'éléments aussi fins et aussi légers. Les comptages effectués sur lame sont indiqués au tableau 1.

TABLEAU I

Analyse pollinique de la base du profil 3066

	Profondeur en mètres	Nymphaea	Autres pollens	Spores	Micro-organismes
Sol.....	2,15-2,2	78	303	204	815
	2,34-2,35	220	407	275	937
	2,45-2,5	117	189	192	392
Limon.....	2,75-2,8	2	500	1	5
	2,95-3,0	1	500	0	2

Lorsque le sédiment traversé manque de cohésion, la tarière pédologique ne permet pas de prélever correctement des échantillons. Nous avons dû renoncer, ainsi, à échantillonner certains sables grossiers et surtout les vases lacustres, cependant si intéressantes par leur richesse pollinique. Pour vaincre cette difficulté nous avons utilisé la sonde de HILLER, conçue spécialement pour le prélèvement d'échantillons dans des formations peu cohérentes, comme les tourbes ou les vases (1).

La sonde de HILLER comprend un corps à deux parois concentriques capables de glisser l'une à l'intérieur de l'autre ; suivant le sens de rotation imprimé à la sonde, le mouvement relatif des deux parois ouvre ou ferme une « fenêtre » le long du corps à la profondeur désirée, permettant l'extraction de sédiments préservés de tout contact avec les parois de la cheminée.

On obtient ainsi une colonne qui respecte intégralement la position relative des couches sédimentaires ou tourbeuses à partir desquelles on peut prélever des échantillons avec une grande précision. Mais l'utilisation de la sonde de HILLER reste limitée à des formations peu denses parce que l'enfoncement se fait « à vide », contrairement à la tarière pédologique dont le corps de sonde se remplit à mesure de sa pénétration. En sorte que les deux types de matériel que nous avons utilisés sont complémentaires, la sonde de HILLER étant inutilisable dans les formations argileuses de Limagne.

C. — Les analyses de laboratoire

A l'exception des prélèvements destinés à l'analyse pollinique, nous avons préparé les échantillons suivant les conventions généralement admises par les pédologues, c'est-à-dire en séparant les graviers et cailloux de la « terre fine » sur un tamis à trous ronds de 2 mm.

(1) Nous remercions Mme M. VAN CAMPO, directrice du laboratoire de Palynologie du Muséum d'Histoire naturelle de Paris qui a bien voulu mettre ce matériel à notre disposition.

1. — Granulométrie

L'analyse granulométrique a pour objet de déterminer la distribution dimensionnelle des éléments individualisés du sol. Elle se prête donc à l'application des techniques statistiques. Ses principes ont déjà été discutés et à ce sujet nous renvoyons le lecteur à l'examen critique qu'en a donné H. Malterre (1946), et au manuel de W. C. Krumbein et F. J. Petitjohn (1938).

Nous n'avons pas retenu la méthode internationale d'analyse mécanique des sols (in A. Demolon, 1962, p. 500) parce qu'elle comporte la destruction préalable des carbonates par ClH dilué. Or, ce traitement exerce, d'abord, un effet physique de division des fragments calcaires, engendrant ainsi une surcharge relative des fractions fines, ensuite, un effet chimique d'altération de certains silicates (D. Collier, 1949). Enfin, grâce à la distribution granulométrique des matériaux ayant subi un transport, nous espérons obtenir des indications précises sur l'agent transporteur et les conditions du dépôt ; dans ce but, il est indispensable de réaliser la dispersion des sédiments avec le minimum d'altérations. Par contre, la méthode internationale paraît avantageuse lorsqu'il est nécessaire d'étudier la composition chimique des colloïdes, par exemple pour préciser les rapports entre un sol et une roche-mère ; elle a ainsi permis à D. Collier (1949) de démontrer la filiation génétique entre les « Terres Noires » et les marno-calcaires stampiens de Limagne.

En conséquence, à la suite des sédimentologues, nous avons adopté une méthode dérivée de celle de A. Demolon et E. Bastisse (1935), qui élimine les ions Ca^{++} floculants par des lavages répétés à ClK 0,1 N. Mais, nous avons constaté que ce traitement et l'attaque à l'eau oxygénée qui le précède, provoquent aussi le passage en solution et, par conséquent, la disparition d'une partie des carbonates. Ces pertes par dissolution se chiffrent en moyenne à 1 p. 100 de la terre fine pour des échantillons calcaires mais elles peuvent atteindre jusqu'à 3 et 4 p. 100 lorsqu'il s'agit d'horizons d'accumulation calcaire où les carbonates précipités sont à l'état de très fines particules de calcite pure plus facilement solubilisées. Ainsi s'explique que le taux global de CO_3Ca mesuré directement sur les échantillons soit toujours supérieur à la somme des mesures exécutées séparément sur chaque fraction granulométrique.

Mode opératoire.

L'échantillon subit d'abord plusieurs traitements à l'eau oxygénée pour détruire les matières organiques. Une prise d'essai de 25 g est placée pendant une nuit au contact de 80 cm^3 environ de H_2O_2 à 25 volumes. Le lendemain, on évapore sur bain de sable à feu doux jusqu'à état pâteux, et on recommence au moins 2 fois cette évaporation après addition de 20 cm^3 de H_2O_2 à 110 volumes. Ainsi traité, l'échantillon est lavé 6 à 8 fois par ClK 0,1 N, *en procédant par décantations* et filtrations successives. Puis il est totalement jeté sur filtre et lavé à l'eau distillée pour éliminer la majeure partie des ions Cl^-.

Il est repris dans un flacon de 1 litre par 600 cm^3 environ d'eau distillée contenant 50 cm^3 de pyrophosphate de sodium à 50 g/l et il est soumis à une double agitation de 2 heures à une nuit d'intervalle. Finalement, il est transvasé dans une allonge amenée au volume de 1 litre.

Dans les sols et sédiments calcaires de Limagne, le pyrophosphate de sodium N (40 cm^3/l) s'est révélé un dispersant plus efficace que le citrate de sodium N (20 cm^3/l) et surtout que l'oxalate de sodium 0,2 N (50 cm^3/l), la soude N (4 cm^3/l) et l'ammoniaque au demi (60 cm^3/l).

Nous avons déterminé les fractions inférieures à 0,05 mm par la méthode pipette qui fournit des chiffres avec une erreur relative de l'ordre de 2 à 5 p. 100 suivant la richesse de la suspension.

Les parties grossières supérieures à 0,5 mm sont fractionnées par tamisage mécaniques sur des tamis à mailles carrées. Au contraire, les éléments de taille supérieure à 2 mm sont tamisés sur des passoires à trous ronds identiques à celles conventionnellement employées par les pédologues pour obtenir la terre fine. Ce changement de nature dans le matériel de tamisage provoque une légère perturbation de la distribution granulométrique apparente pour les particules dont la taille est voisine de 2 mm.

Représentation graphique.

La distribution granulométrique est rapportée à l'échantillon global, graviers et cailloux compris, mais matières organiques et humidité déduites. Elle englobe donc les éléments carbonatés ce qui est indispensable en fonction de l'optique que nous avons définie.

Nous l'avons représentée graphiquement sous deux formes :

1°) *Une courbe cumulative* tracée en coordonnées semi-logarithmiques. La dimension des particules est portée en abscisses suivant une échelle logarithmique. Les ordonnées sont, au contraire, représentées selon une échelle arithmétique et expriment en poids la fréquence relative des particules inférieures à une dimension donnée par rapport à l'ensemble de l'échantillon. Ainsi, chaque point de la courbe cumulative indique l'effectif cumulé des particules qui passent au travers d'un tamis de maille déterminée, ou qui restent encore en suspension après un temps donné (suivant la méthode utilisée en fonction du diamètre des particules considérées).

A la suite de la majorité des sédimentologues français, nous avons adopté la série logarithmique des tamis AFNOR, ou échelle α, de raison $\sqrt[10]{10}$ qui, à un dixième près, correspond au cologarithme de l'ouverture intérieure des mailles exprimée en mm.

2°) *Un polygone de fréquence* construit avec les mêmes coordonnées. Les abcisses sont subdivisées en classes dimensionnelles d'intervalle constant dont nous avons arbitrairement fixé les limites aux valeurs impaires de l'échelle α. A chaque classe ainsi définie correspond un effectif déterminé, c'est-à-dire un point du graphique dont l'abcisse est portée à la valeur médiane de la classe considérée et dont l'ordonnée exprime la fréquence relative des particules dans l'échantillon global. Le polygone de fréquence est la ligne brisée joignant les points ainsi obtenus.

En diminuant à l'extrême l'intervalle des classes dimensionnelles le polygone de fréquence s'identifie à la *courbe de fréquence* dont la courbe cumulative représente la courbe intégrale.

Ces deux modes de représentation sont couramment utilisés par les sédimentologues, facilitant ainsi les comparaisons.

2. — Le degré de saturation

Pour les formations carbonatées, nous nous sommes borné à déterminer le calcaire par calcimétrie.

Par contre, en absence de carbonates, nous avons dosé les bases échangeables et la capacité d'échange de la manière suivante. La saturation du sol est réalisée par la solution N d'acétate d'ammonium neutre préconisée par Schollenberger et Dreibeibis (1930). Sur l'extrait nous avons déterminé les cations échangeables.

Pour mesurer la capacité d'échange, nous avons procédé à l'élimination de l'excès d'ammonium par des lavages à l'alcool à 85° G.L. contenant 1 cm^3/l de $OHNH_4$ dont la présence éviterait l'entraînement par hydrolyse d'une fraction des ions NH_4^+ adsorbés (Metson, 1956). Finalement, l'ammonium adsorbé est déplacé par distillation en présence de magnésie calcinée puis titré par ClH 0,1 N. Ce mode opératoire est peu différent de celui retenu par P. Lefevre (1961) en conclusion à son étude critique sur les méthodes de dosage de la capacité d'échange.

TABLEAU 2

Comparaison de la méthode Metson *et de la méthode* Riehm

Référence	Capacité d'échange en m. val./100 g		M. O. T. °/oo	C/N
	Méthode Metson	Méthode Riehm		
		Sols d'alluvions		
2339 *a*	16,8-18,4	19,2-20,0	24,3	9,1
b	13,4	14,0-14,2	8,7	7,8
c	11,0	13,0-13,0	6,4	6,7
2986	11,8-13,2	14,0-14,0	24,0	10,4
2987	11,2-12,6	10,0-11,5	21,2	9,7
2500 *a*	43,2	42,0	40,8	21,1
2501 *a*	11,9-13,0	12,0-13,3	24,0	11,7
2502	30,2-35,4	34,5-34,1	35,0	11,2
2505	38,0	37,5	28,8	11,8
2920 *a*	32,6-34,3	31,0	27,0	9,3
b	34,9	32,0	19,8	10,4
		Sols argileux de Limagne		
2503	49,2-55,6	53,5	40,6	11,8
3001 *a*		49,0	30,5	13,1
b	56,8	49,0	47,0	21,0
3017 *a*	48,4	48,0	22,2	13,3
3127 *a*	54,8	47,6-47,5	36,1	12,2
b	53,2	48,3	19,4	11,7
c	51,4	50,0-49,5	15,3	11,0
2997 *d*	58,2	48,5-50,0	31,6	23,0
e	57,4	51,5	37,2	25,4
2998 *b*	67,8	60,5	61,1	22,9
2999 *a*	42,2-44,0	36,0	20,1	11,7
b	50,0-51,5	40,5	14,6	10,6

Des essais préliminaires nous ont, en effet, confirmé que la méthode RIEHM (1954), expérimentée en raison de sa commodité, fournit des résultats trop faibles dans les sols de Limagne riches en matières organiques à C/N élevé (tableau 2). Dans ces sols, l'oxalate d'ammonium employé comme agent de saturation provoque une solubilisation partielle de l'humus attestée par la teinte brune des extraits. Ces constatations sont en contradiction avec une remarque de D. COLLIER (1949, p. 55) qui signale la très faible solubilité des matières organiques des sols de Limagne dans l'oxalate d'ammonium (méthode de R. CHAMINADE, 1946). Mais nous soulignons que ces observations de D. COLLIER se rapportent à des sols à C/N normal.

Enfin, nous avons déterminé le pH par potentiométrie d'une suspension de sol dans l'eau distillée suivant les conventions admises en 1927 au Congrès de l'Association Internationale de la Science du Sol.

3. — MATIÈRES ORGANIQUES

Pour caractériser la nature des divers composés organiques, nous avons employé la méthode de TYURIN modifiée selon Ph. DUCHAUFOUR (1960 *a*). Nous avons ainsi, déterminé successivement :

— Les acides fulviques libres (F1) extraits directement par SO_4H_2 0,5 N ;

— Les acides humiques bruns (H1) extraits directement par OHNa 0,1 N et précipitables par SO_4H_2 ;

— Les acides humiques gris (H2 et H3) et les acides fulviques liés aux acides humiques (F2 et F3) sur la même prise d'essai subissant plusieurs extractions successives après décarbonatation préalable par ClH dilué et décalcification complète par des lavages répétés à SO_4Na_2 N.

L'échantillon de terre subit une première extraction sodique (OHNa 0,1 N) exécutée en 2 temps. A partir de cet extrait, on sépare les acides humiques liés au calcium (H2) qui précipitent en présence de SO_4H_2 et les acides fulviques (F2) liés à (H2), restant en solution.

Après deux traitements successifs par SO_4H_2 0,5 N d'abord à froid puis à chaud et élimination des filtrats, l'échantillon est ensuite soumis à une seconde extraction sodique réalisée en 2 temps. Dans un nouvel extrait, on distingue les acides humiques liés au fer et à l'alumine (H3) qui précipitent par SO_4H_2 et les acides fulviques (F3) correspondants.

Sur l'échantillon global et sur les diverses fractions humiques ainsi séparées nous avons dosé le carbone suivant la méthode de P. ANNE (1945). En milieu sulfurique de concentration définie pour assurer la température d'ébullition, la prise d'essai est oxydée par le bichromate de potassium dont l'excès non réduit est titré volumétriquement par le sel de Mohr en présence d'acide phosphorique et de diphénylamine. Le carbone est approximativement proportionnel au chrome réduit. En fait, une telle méthode détermine le pouvoir réducteur de l'échantillon qui peut résulter d'autres éléments que le carbone ; en particulier du fer ferreux présent parfois en quantités non négligeables dans les sols de gley, les limons et les marnes. Dans de tels cas, le pouvoir réducteur a donc été dosé après un traitement préalable à ClH dilué, de manière à éliminer le fer ferreux et obtenir ainsi une indication correspondant réellement au carbone des matières organiques.

Dans les tableaux d'analyses, nous avons exprimé le carbone de chaque fraction

solubilisée en p. 100 du C total. La somme de ces divers composés organiques solubles dans la soude, soit $\Sigma H + \Sigma F$, représente ce que TYURIN appelle le « taux d'humification » de l'échantillon.

Enfin, nous avons dosé l'azote total par la méthode Kjeldahl à partir duquel nous avons calculé la valeur du rapport C/N.

Pour faciliter la comparaison de nos résultats, nous croyons utile de faire remarquer que les « acides humiques » extraits selon la technique décrite dans A. DEMOLON (1952, p. 150) correspond seulement aux fractions $H_1 + H_2$, c'est-à-dire aux acides humiques libres et aux acides humiques liés aux argiles par le calcium. Cette correspondance n'est cependant pas absolue en raison des concentrations différentes du réactif d'extraction et des variations du rapport sol/réactif.

4. — ANALYSE CHIMIQUE ÉLÉMENTAIRE

Nous avons effectué l'analyse totale de quelques sables volcaniques dont il nous importait de connaître la composition. Nous avons utilisé alors la méthode décrite par D. COLLIER (1947) modifiée seulement en ce qui concerne le dosage final de quelques éléments. L'acide phosphorique est déterminé par précipitation sous forme de nitrophosphomolybdate d'ammonium et distillation de l'ammonium du précipité suivant un procédé mis au point par nous-même (1954). Les alcalins sont dosés par photométrie de flamme.

La méthode de D. COLLIER comprend une fusion alcaline à partir de laquelle sont obtenues SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, P_2O_5, TiO_2, CaO et MgO. Sur une autre prise d'essai, on mesure l'humidité, la perte au feu, puis les alcalins sur la reprise à l'eau du résidu d'une attaque sulfo-fluorhydrique.

5. — FER LIBRE

Nous avons utilisé la technique d'extraction mise au point par O. ROBICHET (1957) à partir de la méthode de DEB.

L'extraction du fer est réalisée en agitant dans une solution d'hydrosulfite de sodium et au bain-marie à 40° C une petite quantité de terre finement pulvérisée. L'échantillon est lavé ensuite par ClH N/20. Ce traitement est répété une ou deux fois jusqu'à ce que le résidu soit blanchâtre. Pour éliminer l'hydrosulfite restant et les traces de matières organiques l'extrait subit au bain de sable une attaque sulfonitrique.

Enfin, nous avons dosé le fer par la macrométhode de ZIMMERMAN-REINHARDT (titrage volumétrique par le permanganate après réduction au chlorure stanneux en milieu chlorhydrique) (in TREADWELL et BOLL, 1934, p. 566).

6. — ANALYSE POLLINIQUE

a) *La préparation physico-chimique des échantillons*

Les échantillons destinés à l'analyse pollinique reçoivent divers traitements destinés à concentrer les pollens et les spores par destruction chimique ou séparation mécanique de la plus grande quantité possible des autres fractions qui gêneraient les observations microscopiques finales.

Ces opérations sont rendues possibles par la résistance extraordinaire des parois du grain de pollen dont la membrane externe, l'exine, serait formée d'une substance mal connue voisine des composés terpéniques, sensible seulement aux agents oxydants.

Après avoir procédé à quelques essais comparatifs, nous avons adopté le mode opératoire suivant très voisin de celui proposé par K. FAEGRI et J. IVERSEN (1950, p. 62-63).

La prise d'essai dépend évidemment de la richesse des échantillons en pollens (1), qui varie en fonction de leur nature. Pour faciliter les nombreux lavages par centrifugations suivies de décantations, nous avons réduit la prise d'essai aux poids approximatifs de 1 à 2 g pour les sols humifères ; 8 à 10 g pour les limons nettement calcaires ; 5 à 10 g pour les sédiments sableux préalablement passés au tamis de maille 0,315 mm.

La mise en suspension ne soulève aucune difficulté pour les sédiments sableux ou calcaires. Les échantillons argileux décarbonatés, surtout lorsqu'ils ont été desséchés, sont mis à digérer dans l'eau distillée pendant 48 heures au cours desquelles ils subissent 4 ébullitions.

La destruction des carbonates est ensuite effectuée par traitement à ClH au dixième puis au demi si l'échantillon est très calcaire. L'attaque chlorhydrique est terminée à l'ébullition franche pendant quelques minutes.

Après plusieurs lavages à l'eau distillée, dans le cas d'échantillons argileux riches en matières organiques humifiées, on a intérêt à effectuer une première attaque à la potasse diluée (10 p. 100) dont l'efficacité est proportionnelle à sa durée surtout si elle comprend plusieurs passages successifs au bain-marie bouillant. Ce traitement à l'alcali, signalé par I. M. POKROVSKAIA (1958, p. 22), facilite la dispersion ultérieure de l'argile qui s'élimine ainsi plus facilement lors des lavages à l'eau distillée.

Le culot de centrifugation est alors traité par FH concentré, d'abord à froid pendant une nuit, puis à l'ébullition pendant 3 minutes. Ayant trouvé des renseignements contradictoires sur la concentration de l'acide fluorhydrique à utiliser dans cette méthode mise au point en 1924 par ASSARSSON et GRANLUND, nous avons soumis des échantillons identiques à l'action de FH 40 p. 100 (K. FAEGRI et J. IVERSEN 1950, p. 62) et de FH 70-80 p. 100 (d'après C. SITTLER, 1955, p. 106) et n'avons pas constaté de modifications apparentes ni dans le nettoyage des échantillons ni dans l'état des pollens.

Pour dissoudre les fluosilicates formés, le résidu de l'attaque fluorhydrique est porté jusqu'en début d'ébullition en présence de ClH au dixième, puis lavé à l'eau distillée chaude. Contrairement aux indications de FAEGRI et IVERSEN, il ne paraît pas nécessaire de renouveler ce traitement si les lavages sont effectués avec de l'eau très chaude, à la température de 70-80°.

Les opérations suivantes ont pour but d'effectuer le fractionnement des matières organiques. Elles débutent par des lavages à l'acide acétique destinés à déshydrater totalement le résidu qui est ensuite soumis à une acétolyse. Ce procédé mis au point par G. ERDTMAN en 1936 consiste à traiter le résidu par le mélange d'anhydride acétique pur (7 à 8 parties) et d'acide sulfurique concentré (2 à 3 parties) afin d'hy-

(1) Le terme de pollen désigne au sens strict la substance des grains, mais pour des raisons de commodité de langage, on l'emploie de plus en plus avec le sens dérivé de « grain de pollen ».

drolyser les celluloses et hémicelluloses ; cette opération est effectuée au bain-marie à 80° pendant 10 à 20 minutes.

De nombreux auteurs ont proposé de détruire également la lignine par une oxydation ménagée, traitement qui a soulevé des controverses. Nous avons comparé l'efficacité de divers agents oxydants : l'eau oxygénée à 5 p. 100 ; le perborate de soude en milieu sodique (Mme M. Van Campo, 1950), et le chlore naissant obtenu par action du chlorate de potassium en présence d'acide acétique et d'acide chlorhydrique (chloration de G. Erdtman).

L'action de ces oxydants est apparemment sans effet sur les membranes polliniques lorsque les grains de pollen sont beaux et bien conservés ; au contraire, dans les échantillons où les pollens ont subi des altérations mécaniques (alluvions) ou un début d'oxydation naturelle (sols) nous avons constaté que tous les agents oxydants utilisés affectent l'intégrité des parois polliniques. Nous avons donc renoncé à ce genre de traitement.

Par contre, nous avons pratiqué une seconde attaque par la potasse au dixième qui est utile et efficace dans le cas de sols riches en matières organiques fortement humifiées, ce qui est le cas des sols de marais.

Nos observations confirment ainsi, dans leur ensemble, les essais réalisés par A. Minet (1960) sur des sédiments quaternaires sablo-argileux.

Quant à nos échantillons sableux, nous aurions eu probablement avantage à diposer d'un vibro-séparateur analogue à celui récemment mis au point par P. Dumait (1962) qui nous aurait permis de réaliser une concentration plus efficace et plus rapide des grains de pollen.

b. — *La coloration*

Malgré tous les traitements précédents, il reste toujours des particules minérales et organiques qui surchargent plus ou moins les pollens et les spores. Pour distinguer plus aisément les fragments végétaux nous avons eu recours à la coloration par la fuchsine basique qui présente l'avantage d'apporter un grand contraste.

La coloration des grains varie évidemment en fonction de la concentration du colorant et du temps de contact. Mais on constate qu'au sein d'une même préparation, les membranes polliniques réagissent différemment suivant leur nature. Ainsi, les pollens d'*Abies* ont toujours une teinte plus brune que les pollens de *Pinus* ; de même, les spores du type *Athyrium* sont brunes orangées. Ces nuances n'offrent pas d'intérêt lorsqu'elles s'appliquent à des genres différenciés par les caractères morphologiques de la membrane. Par contre, nous avons constaté que la coloration présente des nuances en fonction du degré de fossilisation des pollens et cela nous a rendu service pour distinguer des pollens d'âges très différents comme nous le verrons plus loin.

Une fois colorés, les échantillons ont été conservés dans de petits tubes hermétiquement bouchés, en présence d'une goutte de glycérine.

c. — *Le montage des préparations*

Le montage entre lame et lamelle est exécuté dans la glycérine gélatinée dont l'indice de réfraction de 1,47 est assez différent de celui de la membrane pollinique voisin de 1,55. La glycérine gélatinée est d'un emploi commode pour les comptages

en série car la préparation est stable et n'exige aucun lutage des bords. La fixité des grains de pollen est, au contraire, un inconvénient lors des recherches d'identification pour lesquelles il est préférable de disposer d'une préparation montée dans la glycérine qui permet le déplacement des grains en appuyant légèrement sur la lamelle.

d. — *L'examen microscopique*

Pour les comptages, nous avons utilisé habituellement un grossissement de 250 diamètres. Pour l'identification des pollens inconnus ou douteux, nous avons examiné l'exine aux grossissements de 600 et 800 diamètres.

Pour identifier les pollens, nous avons eu recours à diverses méthodes. Nous avons commencé par établir des lames de références à partir d'échantillons d'herbier ou fraîchement récoltés. Avec l'aide de la clé de détermination de K. FAEGRI et J. IVERSEN (1950) et des indications recueillies dans les traités de G. ERDTMAN (1943) et de I. M. POKROVSKAIA (1958), nous avons étendu nos connaissances sur les pollens des principaux arbres et arbustes et des herbacées indicatrices de changements écologiques importants. Nous avons entrepris, ensuite, le comptage des lames qui nous a mené parfois à compléter notre collection de référence pour lever des incertitudes. Malgré nos efforts, le taux de pollens indéterminés au cours des comptages est resté de l'ordre de 1 à 5 p. 100 du total des pollens dénombrés, sauf dans le niveaux récents où il peut atteindre 10 p. 100 en raison de l'abondance des pollens d'herbes.

Enfin, pour séparer les Céréales des Graminées non cultivées, dont la distinction est délicate, nous nous sommes basé sur la dimension des grains et avons adopté la taille limite de 40μ au-dessus de laquelle les pollens de Graminées sont rares, exception faite pour *Elymus arenarius* L., heureusement absent en Limagne.

Pour faire l'inventaire pollinique de chaque échantillon, nous avons identifié le plus souvent 200 à 400 pollens. Lorsque nous avons souhaité obtenir des résultats très précis, nous en avons compté jusqu'à 800 et plus. Dans le cas de sédiments très pauvres, nous avons dû nous contenter en de rares occasions d'un chiffre inférieur à la centaine.

Nous pensons avoir ainsi obtenu une représentation valable de la pluie pollinique qui a marqué chaque sédiment. En effet, L. Von POST (1918), K. FAEGRI et J. IVERSEN (1950), E. D. ZAKLINSKAIA (1939-1940) considèrent que le dénombrement de 150 grains de pollens forestiers fournit une représentation satisfaisante de la pluie pollinique. Mais, en accord avec W. DIMBLEBY (1957), nous pensons que le nombre de pollens à compter dépend de l'utilisation qu'on veut en tirer.

Pour éviter le risque d'erreur signalé par H. GODWIN (1934), qui concerne les différences de mobilité des pollens et spores sous la lamelle lors du montage, nous avons toujours effectué nos comptages en opérant en va-et-vient d'un bord à l'autre de la lamelle.

e. — *L'établissement des diagrammes polliniques et leur représentation graphique*

En raison du brassage qu'ils subissent au cours de leur dissémination, les pollens sont intimement mélangés et ont une distribution homogène lorsqu'ils retombent sur le sol, au moins dans un certain périmètre autour des sources polliniques. Ce caractère autorise l'application des méthodes statistiques pour déterminer la composition de la pluie pollinique atteignant le sol à un instant donné.

En principe, les calculs de pourcentages sont rapportés à la somme des pollens provenant des espèces formant la strate supérieure de la végétation étudiée. Parce que les premières recherches palynologiques ont porté sur l'étude des paléoflores du Quaternaire récent représentées esentiellement par des forêts, L. Von Post, le fondateur de l'école scandinave, a adopté de rapporter la fréquence de chaque espèce à la somme des seules essences forestières, à l'exclusion des arbustes de la strate inférieure, comme le Coudrier et le Saule, susceptibles de prendre localement une ampleur considérable et de masquer ainsi les composantes essentielles de la flore. Cette conception a été généralement suivie mais a été critiquée par K. Faegri et J. Iversen (1950) qui prétendent que le Coudrier ne peut pas fleurir — donc produire du pollen — si le couvert forestier est total. Pour ces auteurs, la présence de pollens de Noisetier indique donc qu'il fait localement partie de la strate supérieure et qu'il doit donc être inclus dans la somme pollinique de référence. Ces mêmes auteurs conseillent également de rapporter les pourcentages à la somme des pollens forestiers et des pollens d'herbacées lorsque la couverture végétale étudiée comprend des phases essentiellement herbacées : par exemple, pour établir le spectre des steppes du Tardiglaciaire ou ceux des périodes historiques marquées par les déforestations massives.

Nos études sur la Limagne se rapportent à de telles périodes et, par conséquent, il serait sans doute préférable de choisir la méthode globale de Faegri et Iversen, que nous n'avons cependant pas retenue pour ne pas masquer l'évolution des composantes forestières généralement représentatives des stades *climaciques*. Nous avons donc établi nos spectres et nos diagrammes suivant le système classique de Von Post, bien qu'il convienne mal aux spectres des sols de Limagne qui contiennent peu de pollens forestiers. Les taux calculés manquent alors de précision et il est indispensable d'en tenir compte lors de l'interprétation.

La transcription en pourcentages des pollens inventoriés aboutit au *spectre pollinique* (Jessen, 1917) de l'échantillon analysé. Avec l'établissement de spectres polliniques étagés, issus de la même section verticale d'un sédiment ou d'une tourbe, on obtient un *diagramme pollinique* qui permet de déceler les variations des proportions polliniques en fonction du temps.

Étant donné que nos analyses polliniques présentent des pollens d'herbes en quantités relatives parfois considérables, nous avons complété chaque spectre pollinique en calculant la fréquence de l'ensemble des espèces herbacées ou aquatiques et parmi celles-ci des espèces des familles dominantes. Contrairement à la plupart des auteurs, nous avons fait figurer les Cypéracées parmi les pollens des plantes aquatiques et non des herbacées parce qu'en Limagne, les carex sont toujours localisés dans des stations marécageuses, suivant en cela l'opinion exprimée par M. Welten (1950) et les conseils de Mme M. Van Campo.

La représentation graphique la plus couramment utilisée est celle de Von Post où l'on porte en ordonnées la profondeur des prélèvements et en abscisses le taux de chaque espèce représentée par un symbole. En joignant les points correspondants à chaque essence, on obtient des courbes qui traduisent l'évolution relative de chaque constituant de la pluie pollinique. Pour faciliter la lecture des diagrammes les plus complets, nous avons préféré séparer chaque courbe pollinique que nous avons représentée individuellement. Lorsque les analyses polliniques ne portent que sur quelques niveaux d'un profil, nous n'avons pas établi de graphiques.

CHAPITRE V

CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES FORMATIONS SUPERFICIELLES

A. — Considérations générales

Comme nous l'avons déjà dit, nous avons limité intentionnellement le cadre géographique de notre travail au périmètre marno-calcaire de la Grande Limagne dans le but de réduire l'hétérogénéité pédologique engendrée par la diversité des roches-mères. De ce fait, la plupart des sols étudiés appartiennent à la classe des sols calcimorphes ; et leur différenciation dépend essentiellement de facteurs topographiques. Mais il existe des enclaves d'alluvions anciennes, caillouteuses ou sableuses, qui portent des sols acidifiés présentant de nets symptômes de lessivage.

Sauf exception, nous n'avons pas abordé les questions relatives à l'*origine* des constituants physico-chimiques des sols calcimorphes limagnais parce que ces points ont fait l'objet principal du travail de D. Collier (1949) dont nous rappelons les conclusions.

Les caractères généraux des sols de Limagne résultent de la « présence d'un substratum de roches argilo-calcaires (1) dont le calcaire a apporté la chaux et l'alcalinité, tandis que l'argile a permis la formation d'un important complexe absorbant bien pourvu en potasse » (p. 75). La richesse en acide phosphorique observée dans la partie méridionale provient d'apports secondaires de débris volcaniques. Les sols argilo-calcaires de Limagne « se distinguent franchement des sols granitiques et volcaniques environnants », en particulier par leur richesse en argile et par leur « composition chimique totale rappelant celle de leurs colloïdes, lesquels sont caractérisés par la valeur relativement élevée des rapports moléculaires SiO_2/R_2O_3 et $Bases/R_2O_3$ » (p. 73).

Mais, puisque l'ensemble des formations de surface a subi au cours du Quaternaire récent l'action contraire et interdépendante de phénomènes pédologiques et de phénomènes d'érosion et d'accumulation, nous avons porté notre attention sur quelques déterminations particulières.

Tout d'abord, la *distribution granulométrique* des éléments à différents niveaux du profil, qui fournit des indications précieuses sur le mode de transport des sédiments et par conséquent sur l'agent responsable du remaniement, également sur les rapports liant sol et substratum.

Ensuite, la *distribution des carbonates* à la fois au sein d'un même profil pédolo-

(1) Les limons sont implicitement inclus.

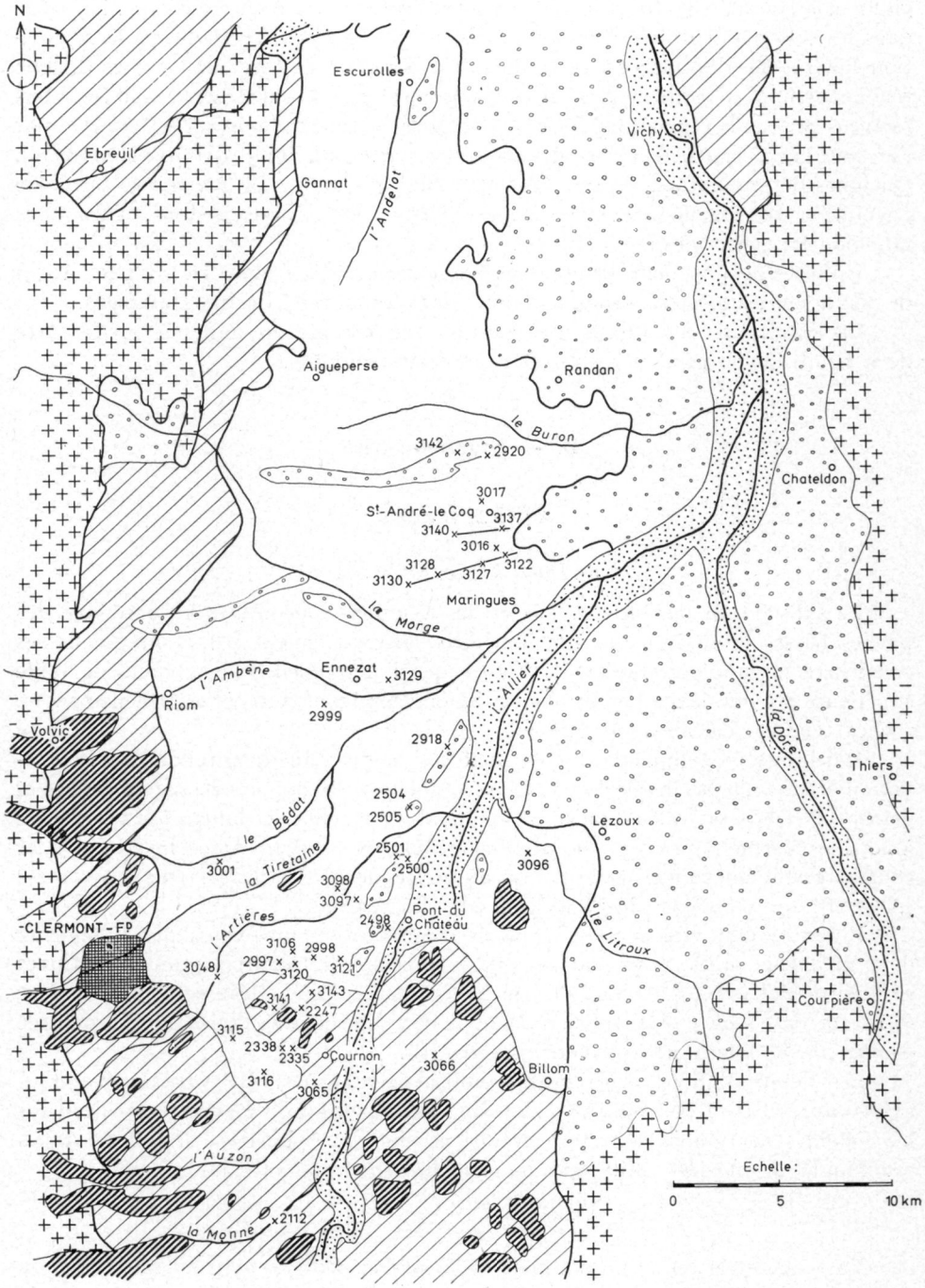


FIG. 2. — *Localisation des profils mentionnés dans le texte*

gique et aussi suivant l'environnement topographique du point considéré. En effet, dans les sols calcimorphes, l'évolution pédologique *progressive* aboutit à la répartition hétérogène des carbonates commandée par les caractères climatiques (régime pluviométrique et températures) et par la perméabilité du substratum dont les interférences règlent le régime hydrique du sol. Mais, si la surface du sol est affectée par l'érosion, l'évolution pédologique devient *régressive* et conduit au rajeunissement du sol. Quelques déterminations de taux de saturation ont permis de préciser le terme de l'évolution des sols décarbonatés. La distribution des carbonates dans les fractions granulométriques a été aussi étudiée.

Enfin, l'*étude des matières organiques* qui avait déjà permis à D. Collier (1949) de distinguer les formes fossiles contenues dans les marno-calcaires stampiens.

La localisation des profils mentionnés dans le texte est indiquée sur la carte de la figure 2 avec les numéros de référence correspondants.

B. — Granulométrie

1°) Les limons

a) *Dans les zones basses*

Le substratum meuble des sols et des alluvions rencontré sur l'ensemble des parties basses de la Limagne est caractérisé essentiellement par la finesse de ses constituants granulométriques. L'absence quasi permanente de graviers de taille supérieure à 2 mm laisse penser que ces limons de plaine dérivent essentiellement de roches tendres, calcaires ou marnes.

Dans toute la gamme des limons analysés, environ une quarantaine, où l'observation directe n'a pas décelé de pollution notable par des apports étrangers (sables et galets quartzeux ou volcaniques), la somme des éléments de dimensions inférieures à 20 μ représente 85 à 95 p. 100 de l'échantillon. Nous avons tracé sur la fig. 3 les courbes granulométriques et les polygones de fréquence des cas extrêmes rencontrés (A) et (B), qui montrent ainsi l'éventail de la fluctuation.

En pratiquant des analyses à partir d'échantillons prélevés à divers niveaux dans un même profil, nous nous sommes aperçu que les courbes granulométriques se superposent le plus souvent suivant la profondeur des prélèvements ; autrement dit de la base vers le sommet d'un limon, la distribution granulométrique se déplace généralement de la courbe (A) vers la courbe (B).

Les déterminations analytiques confirment donc les observations que nous avons rapportées précédemment (p. 22) sur l'action dispersante exercée par l'eau sur les colloïdes des limons, soit par altérations sur place dans les situations topographiques privilégiées, soit par remaniement dans la plupart des cas.

b) *Sur les côtes*

En quittant le territoire marneux de la plaine pour les coteaux limagnais, ou simplement les faibles éminences, on est frappé par l'apparition de graviers et de cailloux calcaires au sein des limons, dont la présence se répercute jusqu'à la surface du sol. Ces cailloux ne peuvent que résulter de la fragmentation de calcaires marneux

relativement durs, dont la plus grande résistance à l'érosion est, par ailleurs, directement responsable du microrelief. Il n'est donc pas surprenant de constater que les limons de pente ont souvent une distribution granulométrique caractérisée par la présence d'une charge complémentaire d'éléments grossiers, non classés, variable en dimensions et en pourcentage suivant la nature des marno-calcaires venant en affleurement sur le versant d'alimentation de ces limons. A cet égard, l'observation précise des biseaux d'affleurement nous conduit à penser que les limons fins résultent essentiellement de l'altération de roches tendres et friables, susceptibles de se pulvériser facilement sans posséder nécessairement des caractères de délitescence sous l'action de l'eau. Les limons chargés d'éléments grossiers émanent au contraire

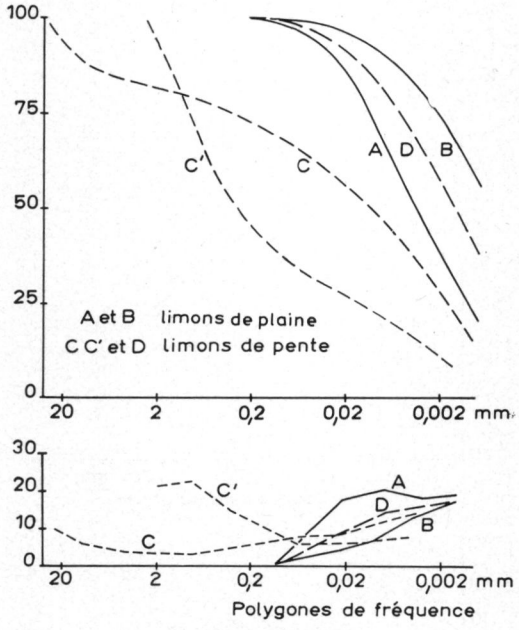


FIG. 3. — *Granulométrie des limons*

de roches dures, ou encore de roches présentant des plans de clivage très marqués, telles que les marnes en plaquettes. Des éléments volcaniques ou granitoïdes s'ajoutent aux calcaires lorsque le coteau est dominé par une coulée, un neck ou une terrasse ancienne. Ces éléments grossiers distribués sans aucune correspondance avec la texture des roches sous-jacentes sont une excellente preuve du colluvionnement des limons le long des pentes.

L'allure générale des courbes cumulatives apparaît sous la forme d'un tronçon subrectiligne correspondant aux parties fines, et analogue à la distribution des limons de plaine, qui se raccorde vers les abscisses de 0,2 à 0,02 mm à un autre tronçon de « faciès parabolique » suivant la terminologie de A. RIVIÈRE (1952 *a*). Nous avons tracé sur la fig. 3 les courbes correspondant aux limons de pente les plus fins (D) et les plus grossiers (C) et (C') ; la distribution granulométrique du type (C') comportant une dominante sableuse a été rarement rencontrée.

c) *Interprétation*

Bien qu'elles soient limitées à la dimension inférieure de 0,8 μ, les courbes de type (A) et (B) sont suffisantes pour définir une distribution approximativement logarithmique des particules, ayant tendance à prendre la forme hyperbolique (D) par une meilleure dispersion des éléments. Ce dernier « faciès granulométrique » (A. RIVIÈRE, 1952 *a*) traduit une évolution très avancée du sédiment et correspond à la sédimentation par décantation en eaux relativement peu profondes. Il faut donc

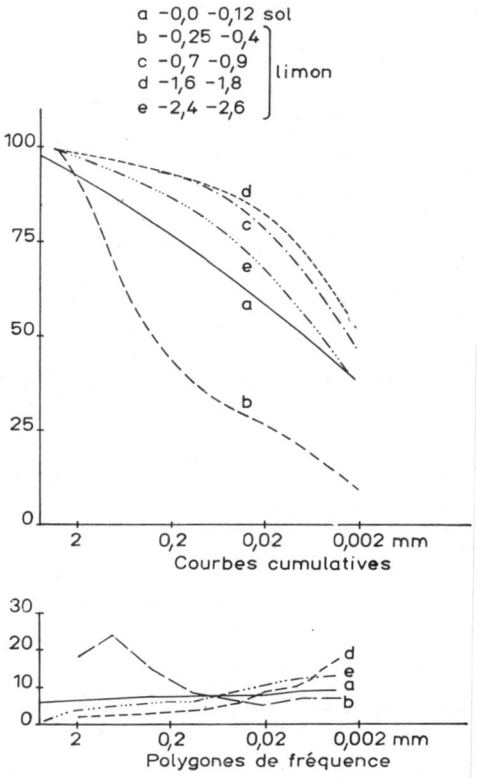


FIG. 4. — *Granulométrie particulière d'un sol de coteau* (VEYRE, 2112)

voir dans ce faciès la granulométrie du sédiment originel, d'âge stampien, déposé dans les lagunes ou lacs limagnais. L'altération exercée par le CO_2 des matières organiques et par les agents externes sur les marno-calcaires aurait donc pour effet de remettre en dispersion ces éléments préexistants, effet traduit par le passage de (A) vers (B) et de (C) vers (D).

Cette interprétation nous paraît d'autant plus justifiée que l'on retrouve, hors de l'Auvergne, des limons dérivant de roches calcaires ou marneuses qui présentent des caractères identiques ; par exemple, les limons de couverture du plateau jurassique bourguignon possèdent les mêmes distributions granulométriques (S. MERIAUX, 1961).

Le « faciès parabolique » qui caractérise la distribution des éléments grossiers de (C) ou (C') exprime le début de triage ayant affecté la masse des limons caillouteux au cours de leur cheminement sur les coteaux. La courbe (C') est issue d'un profil (2112) sur le versant sud du puy de Marmant, près de Veyre (fig. 4). Alors que les sols (*a*) et les limons (*c, d, e*) présentent la distribution que nous venons de définir, celle du niveau (*b*) dérive du type (C) par élimination de la plupart des fractions fines. Cette granulométrie de (*b*) correspond donc à une colluvion de laquelle l'érosion aurait éliminé les éléments fins. Il s'agit là d'un phénomène de régression dans l'évolution du sédiment colluvial qui, à l'origine, devait présenter une distribution granulométrique analogue à celle du sol (*a*). Dans le cas cité, les fractions sableuses des limons et du sol comprennent beaucoup d'éléments volcaniques en provenance des pépérites qui forment l'armature du puy de Marmant.

2°) Les sédiments fluviatiles

a) *Granulométries typiques*

La granulométrie des alluvions est remarquable par le triage effectué par l'eau, élément transporteur, sur les particules transportées. De ce fait, la courbe cumulative tracée en coordonnées semi-logarithmiques a l'allure d'une sigmoïde, avec un segment central rectiligne ou subrectiligne de part et d'autre du point d'inflexion qui correspond à la dimension des particules les plus fréquents (mode). Les courbures terminales sont dues à la dispersion aléatoire (A Rivière, 1954) qui n'apparaît plus en adoptant une échelle de probabilité pour représenter les ordonnées ; malgré cet avantage, nous n'avons pas cru bon de recourir à ce procédé graphique pour conserver l'unité de représentation des figures.

L'allure générale des courbes cumulatives d'alluvions est donc relativement régulière, le principal caractère étant la valeur du mode de la distribution, ou encore celle de la médiane qui est beaucoup plus facile à déterminer graphiquement. Mais, ces indications ne font que préciser, en les chiffrant, les observations effectuées directement sur le terrain. Ainsi, en Limagne, la granulométrie confirme que les alluvions de l'Allier présentent des variations de calibre beaucoup plus importantes que celles déposées par les rivières limagnaises. Pour illustrer ces constatations nous avons tracé sur la fig. 5 les courbes cumulatives d'échantillons prélevés volontairement parmi les alluvions de l'Allier les plus caillouteuses (A) et les plus fines (B). Par comparaison nous avons placé les courbes correspondantes (C) et (D) rencontrées en Limagne dont la première provient d'une strate grossière prélevée à Saint-Clément-de-Régnat dans une terrasse ancienne de la Morge et la seconde d'un sable fin volcanique déposé par des ruisellements temporaires au pied des côtes de Pont-du-Château.

b) *Granulométries particulières*

A côté des courbes cumulatives aussi bien caractérisées que les précédentes, on rencontre des distributions complexes qui témoignent du mélange de matériaux de différentes origines (E). Il s'agit d'alluvions quartzeuses ou volcaniques qui se sont chargées soit de limons marneux, soit de sols argilo-calcaires.

c) *Interprétation*

La granulométrie des sédiments alluviaux limagnais présente donc une allure normale, c'est-à-dire une distribution gaussienne qui traduit le tri subi par les éléments au cours de leur transport par l'eau ; les particules les plus lourdes ou les plus grosses sont abandonnées les premières à mesure de la réduction de la puissance du courant, elle-même fonction de la diminution de la vitesse, c'est-à-dire de la pente.

Mais la compétence de tout filet liquide est également liée à son débit ; ainsi s'explique qu'en un point donné, on trouve superposés des lits d'alluvions diver-

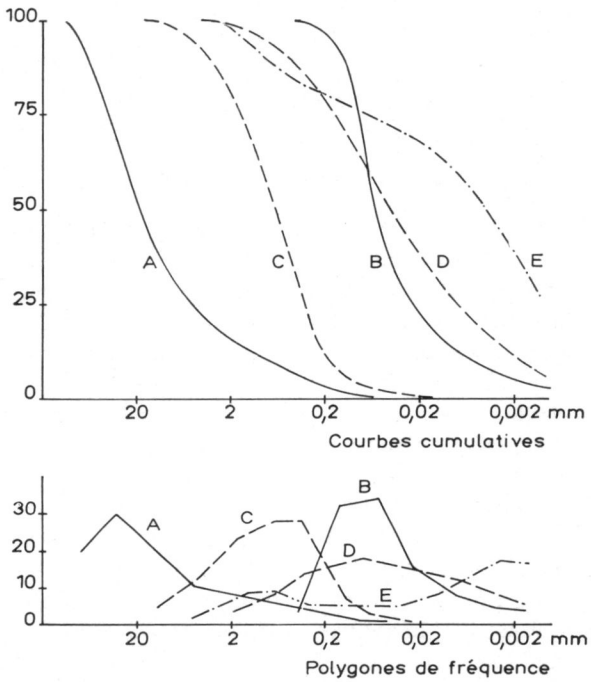


FIG. 5. — *Granulométrie des sédiments fluviatiles*

sement calibrés. En Limagne, il n'est pas rare d'observer de telles alternances de bancs sableux et de couches limoneuses. Nous avons, en effet, rencontré de telles dispositions stratigraphiques au cours de sondages exécutés dans les alluvions de l'Artières, à Crouelle et à Marmillat, dans celles du Bédat à Gerzat. Nous avons vu des coupes semblables à l'aval de Ménétrol et à l'amont de Gerzat dans la tranchée ouverte pour poser les canalisations amenant le gaz de Lacq à Clermont. D. COLLIER nous a rapporté des faits analogues constatés lors du creusement du bassin de décantation à Herbet (ruisseau des tanneurs). Les sondages forés à la Gauthière (Michelin) et à Gerzat (Centrale laitière) confirment ces observations.

Nous sommes ainsi conduit à avancer que les dépôts sableux résultent essentiellement d'apports « longitudinaux » en provenance de la région des Dômes alors qu'au

contraire, les dépôts de limons proviennent surtout d'apports « latéraux » issus des versants limagnais.

Ce contraste granulométrique est confirmé par la nature pétrographique des sédiments, en particulier par l'importance relative des éléments calcaires. Mais l'alternance des apports longitudinaux et latéraux est loin d'être toujours parfaite et souvent on assiste à leur mélange plus ou moins intime ; ainsi s'expliquent les courbes granulométriques complexes telles que celle tracée en (E) sur la fig. 5.

3°) Les sédiments lacustres

Il existe en Limagne des sédiments déposés dans les eaux calmes d'anciens lacs aujourd'hui disparus mais dont l'existence est authentifiée par la présence de fossiles d'eaux douces (Diatomées) et encore par des documents historiques, comme

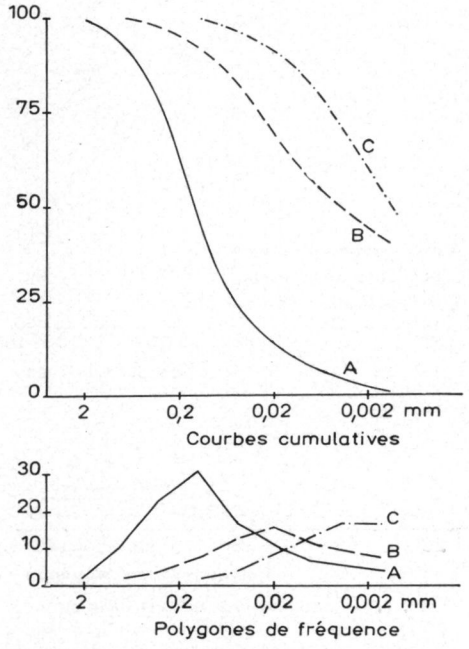


Fig. 6. — *Granulométrie des sédiments lacustres*

à Sarlième. Or, dans le périmètre du marais de Sarlième, nous avons rencontré des sédiments qui diffèrent par leur calibre et par leur distribution granulométrique.

D'une part, au débouché de petits talwegs aujourd'hui devenus inactifs, nos sondages ont traversé des sables bien calibrés qui sont enfouis sous un manteau de colluvions argilo-calcaires et qui sont représentés par la courbe (A) sur la fig. 6. Les lits plus fins (B) sont, par contre, moins bien triés.

D'autre part, au centre de la cuvette de Sarlième, les sables passent latéralement à des vases caractérisées par l'odeur nauséabonde de l'acide sulfhydrique. Ces vases

présentent une granulométrie identique à celle des limons de plaine avec 90 p. 100 de particules inférieures à 0,02 mm (courbe (C)). Leur « faciès granulométrique » de tendance hyperbolique s'accorde avec l'interprétation formulée par A. RIVIÈRE (1954) caractérisant ainsi un dépôt par décantation.

4°) LES SOLS

La granulométrie des sols de Limagne montre une fluctuation calquée sur celle des divers substrats. D'une manière générale, nos déterminations confirment les résultats obtenus par D. COLLIER (1949) ; mais elles accentuent encore l'importance relative des sols possédant plus de 60 p. 100 de colloïdes minéraux.

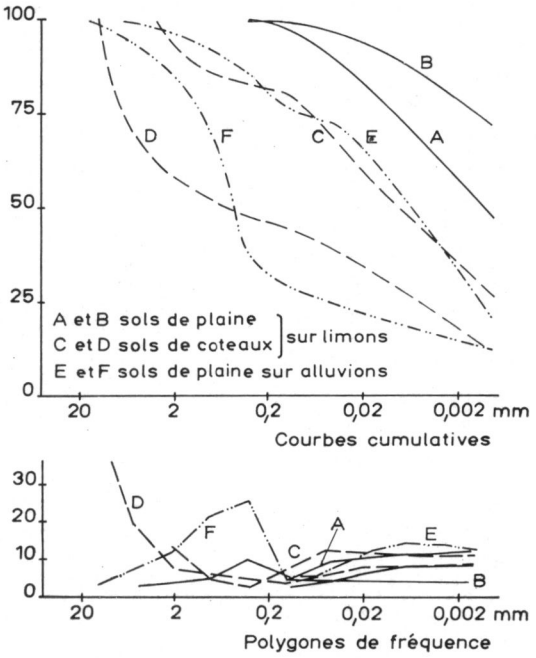


FIG. 7. — *Granulométrie des sols limagnais*

Lorsque le substratum est formé par des limons, substratum de beaucoup le plus fréquent dans les parties basses, nous avons trouvé des taux d'argile généralement compris entre 50 et 70 p. 100, la courbe cumulative se présentant sous la forme d'un tronçon à peu près rectiligne selon le type (A) de la fig. 7 ; la courbe (B) correspond au cas extrême des sols analysés. Cette forme de courbe disparaît quand le niveau des colloïdes minéraux s'abaisse en-dessous de 40 p. 100.

Cela survient pour les sols de coteaux dont la courbe granulométrique est composée, vers les parties fines, d'un tronçon rappelant la distribution des limons, et vers les parties grossières d'une charge de fragments hétérométriques, de nature essentiellement calcaire. Le plus souvent, le taux d'argile de ces sols oscille entre 30 et 40 p. 100

(courbe (C)) ; il s'élève avec le degré d'évolution pédologique et s'abaisse au contraire parfois jusqu'à moins de 20 p. 100 dans les sols graveleux, uniquement sous le fait de la surcharge grossière (courbe (D)). On retrouve donc, dans ces sols, les distributions granulométriques déjà décrites pour les limons de pente.

On assiste également à la réduction du taux d'argile dans certains sols de la plaine, au voisinage des talwegs. La surcharge grossière est alors de nature surtout quartzeuse ou volcanique et sa distribution présente un mode plus ou moins marqué. Nous avons tracé sur la fig. 7 les courbes granulométriques de deux sols, l'un faiblement (E), l'autre fortement (F) amendé par des apports de sables fluviatiles. Ces deux sols reposent sur un substratum d'alluvions qui explique la distribution des fractions sableuses.

5°) Conclusions

La granulométrie permet donc de distinguer en Limagne :

— Des formations argileuses dérivant des marnes stampiennes, limons et sols, dont la courbe cumulative subrectiligne prend une forme convexe vers le haut avec la dispersion croissante des éléments colloïdaux. On peut admettre que ce « faciès hyperbolique » final traduit les conditions dans lesquelles se sont déposés les sédiments stampiens originels, c'est-à-dire un dépôt par décantation.

— Des formations complexes argileuses et sableuses ou graveleuses, constituées par l'incorporation au type précédent, d'une charge grossière de nature tantôt marneuse, tantôt calcaire. Il s'agit de limons et de sols ayant subi un transport en masse (solifluxion, creeping, ruissellement diffus) le long des versants et colluvionnés de préférence dans les zones de piémont, à l'aval des ruptures de pente.

— Des alluvions transportées par les organes du ruissellement concentré et déposées par excès de charge ; courbe cumulative d'allure sigmoïdale et polygone de fréquence à mode bien marqué.

— Des formations mixtes, mi-colluviales mi-alluviales.

Les vases lacustres déposées par décantation présentent une distribution granulométrique semblable à celles des limons marneux et des sols qui en dérivent.

C. — L'état calcique

Dans le périmètre marno-calcaire de la Grande Limagne, et sous le climat subcontinental qui le caractérise, l'état calcique des sols résulte d'une part de la constitution minéralogique des roches-mères et d'autre part de l'importance du drainage, lui-même fonction de l'épaisseur des sols, de la perméabilité du substratum et de la situation topographique.

Perméabilité et nature pétrographique étant étroitement liées, l'étude du substratum des sols limagnais conduit à distinguer deux formations essentielles de caractères opposés : les limons d'une part, les alluvions d'autre part. Les marno-calcaires occupent une position intermédiaire en raison de leur faciès variés ; ils sont cependant peu perméables, pour la plupart, parce qu'en s'altérant facilement, ils libèrent des produits fins qui colmatent leurs fissures.

Par voie de conséquence, nous étudierons le mouvement des carbonates dans les sols reposant sur ces deux types de substratum.

1°) Les marno-calcaires et les limons

Les marno-calcaires stampiens et les limons faiblement structurés qui en dérivent sont à la fois argileux et calcaires. Nous avons indiqué précédemment leur richesse en colloïdes minéraux. En ce qui concerne leurs teneurs en carbonates, nous nous trouvons en présence d'un éventail très large, s'ouvrant depuis des marnes à 30 p. 1 000 de CO_3Ca jusqu'à des calcaires à peu près purs. Mais, le plus souvent, marno-calcaires et limons possèdent de 300 à 750 p. 1 000 de carbonates ; à cet égard, les vases lacustres ne se différencient pas des limons. Ces résultats confirment, dans leur ensemble, ceux de D. Collier (1949).

La distribution des carbonates dans les diverses fractions granulométriques présente aussi de grandes variations et ne suit pas de règle générale. Sur les pentes comme dans la plaine, la teneur la plus élevée en CO_3 Ca se rencontre tantôt vers les fractions 2 à 50 μ, tantôt dans les sables. Si les fractions grossières ne sont pas toujours les plus carbonatées, cela tient soit à la présence d'éléments siliceux surchargeant les calcaires, soit à la nature différenciée des roches ayant fourni les fractions grossières et les fractions fines. Par exemple, des marnes se débitant en plaquettes libèrent des graviers ou des sables moins carbonatés que la masse fine issue de calcaires friables.

2°) Les alluvions

Les alluvions qui comprennent presque toujours à la fois des éléments volcaniques et des éléments granitoïdes sont au contraire décarbonatées.

Il arrive cependant qu'elles emprisonnent des lits argilo-calcaires interstratifiés, principalement localisés au sommet et à la périphérie des nappes alluviales. Dans ces situations marginales, les sédiments ont été repris parfois par les eaux courantes qui les ont mêlés, donnant ainsi naissance à des limons chargés de sables comme nous en avons observés à Mondésir, à Gerzat, à Riom. Ce substratum complexe possède alors des caractères mixtes : richesse en carbonates encore élevée et composante sableuse appréciable engendrant une perméabilité non négligeable.

3°) Les sols sur substratum perméable

En Limagne, lorsqu'un sol calcaire de profondeur moyenne repose sur un substratum perméable, on constate toujours un entraînement des carbonates qui s'accumulent à la partie supérieure du support perméable (graviers ou sables siliceux, calcaires, ou encore marnes en plaquettes) (tabl. 3).

Cette accumulation est nettement visible sur le front des carrières qui exploitent les nappes alluviales anciennes de l'Allier (profil 2498) et de la Morge (2920). A la face supérieure des galets, elle forme une croûte qui durcit en devenant plus épaisse et réalise ainsi la consolidation des alluvions. Dans les sables, elle masque totalement la couleur originelle des sédiments ; par exemple, des sables volcaniques, noirs par nature, se présentent sous la forme de matériaux pulvérulents très clairs.

Elle se produit également au niveau de la plaine lorsque le sol repose sur des sables ; c'est le cas de Lempdes (3121) et de Pont-du-Château (3097). Nous l'avons

observée sous des sols argileux dont l'épaisseur atteint près de 1,50 m ; mais il est probable qu'il s'agit là d'un entraînement fossile réalisé alors que le sol n'avait pas encore atteint sa puissance actuelle ou subissait un climat plus humide. Cette hypothèse sera reprise au cours de la conclusion.

TABLEAU 3

Variations du taux des carbonates dans les profils sur substratum perméable

Origine	Référence	Nature	Profondeur en mètres	CO_3Ca	Taux de saturation
Pont-du-Château (terrasse a^{1b} de l'Allier)...	2498	sol	0,0-0,1	19	
			0,4-0,5	21	
		sables et graviers	0,8-0,9	216	
		sables	1,4-1,5	traces	
Lempdes (plaine intermédiaire)	3121	sol	0,0-0,4	103	
			0,4-0,6	127	
		sables	0,7-0,9	370	
			1,2-1,3	217	
			1,4-1,5	69	
			1,55-1,6	42	
		limon	1,6-1,8	403	
Pont-du-Château (plaine basse).....	3097	sol	0,0-0,4	132	
			0,6-0,8	106	
		sables	0,8-0,9	155	
			0,9-1,0	29	
			1,05-1,15	0	
		limon	1,2-1,3	404	
Lempdes (coteau).....	2247	sol	0,0-0,15	134	
			0,15-0,35	153	
		croûte	0,35-0,38	755	
		marne (plaquettes)	0,40-0,50	30	
Gerzat (plaine basse)	3001	sol	0,4-0,6	traces	104
			0,8-1,1	traces	100
		sables	1,4-1,8	0	
Saint-Clément-de-Régnat (terrasse a^{1c} de la Morge)	2920	sol	0,1-0,2	0	95
			0,3-0,35	0	94
		graviers	0,45-0,55	130	112
		sables	0,6-0,7	35	

Si les carbonates du sol ont été parfois totalement entraînés, le complexe colloïdal n'en demeure pas moins presque complètement saturé (cf. profils 3001 et 2920).

Les sables ainsi surchargés de calcaire sont les seules formations de Limagne dans lesquelles nous avons trouvé une plus grande proportion de CO_3Ca dans la fraction argileuse malgré les pertes, antérieurement signalées, subies au cours de la mise en dispersion.

Lorsque le substratum perméable est formé par des calcaires compacts ou des marnes en plaquettes, l'accumulation calcaire se produit au contact de la roche fragmentée et est abondamment exploitée par un feutrage dense de radicelles ; le profil 2247 de Lempdes illustre ce type.

Enfin, la capacité d'échange, comprise entre 40 et 70 m. val./100 g, caractérise nettement les sols de Limagne qui dérivent des marno-calcaires. En effet, dans les sols formés aux dépens des alluvions, elle dépasse rarement 30 m. val./100 g. Des valeurs intermédiaires existent, certes, mais elles surviennent dans les sols dont la granulométrie et la nature minéralogique des fractions grossières attestent la réalité d'apports étrangers aux marno-calcaires.

A titre indicatif, nous avons calculé la proportion de carbonates exportés par drainage dans les cases de végétation de la Station d'Agronomie du Massif Central. Nous relevons dans D. Collier et M. Robelin (1959, p. 437) qu'un sol de Limagne, épais de 0,85 m, de densité apparente voisine de 1, titrant 74 p. 1 000 de CO_3Ca et reposant sur un substratum perméable, a perdu de 1954 à 1958 environ 800 kg/ha de CaO alors qu'il a porté 4 cultures annuelles successives : orge d'hiver, betteraves sucrières, orge de printemps et maïs. De 1958 à 1961, sous une culture de luzerne, 250 kg/ha supplémentaires ont drainé. L'exportation globale s'est donc élevée à 1050 kg/ha de CaO, soit *150 kg/ha de pertes annuelles*, pour un ensemble de cultures représentant assez bien un échantillonnage moyen des types de cultures actuellement pratiquées en Limagne.

Ce chiffre moyen, établi malheureusement sur une trop courte période, correspond à un coefficient annuel de lessivage de 0,425 p. 1 000 du stock des carbonates du sol. En supposant que ce coefficient demeure constant, il faudrait donc attendre près de 2 500 ans pour qu'un tel sol, profond de 0,85 m, soit décarbonaté sur toute son épaisseur.

Mais il s'agit là d'estimation bien aléatoire car de nombreux facteurs échappent à notre connaissance. On ne possède que de vagues idées sur les variations passées des précipitations. Le pouvoir d'attaque des calcaires par les solutions du sol dépend, entre autres, de l'abondance des acides humiques, c'est-à-dire de la couverture végétale. En outre, D. Collier et M. Robelin (1959) ont montré qu'en augmentant l'eau transpirée par les plantes, l'intensification culturale réduit notablement le drainage, et par conséquent, l'exportation des éléments, tels que le calcium, peu retenus par le complexe absorbant du sol. Il apparaît donc logique d'admettre un coefficient supérieur de lessivage de la chaux au cours des siècles précédents en raison de la moindre productivité agricole de la région, toutes choses égales d'ailleurs.

4°) Les sols sur substratum imperméable

Ces sols sont de loin les plus répandus en Limagne et présentent de grandes variations d'état calcique suivant les localités mais aussi au sein d'un même profil (tableau 4).

Nous avons remarqué que les sols les moins profonds possèdent généralement un taux croissant de carbonates du sommet vers la base alors que les sols épais présentent un gradient le plus souvent opposé. Ce contraste devant traduire des processus différents, nous avons jugé utile d'étudier séparément ces deux types de profil, dont la limite se situerait vers la profondeur moyenne de 50-70 cm.

a) *Sols peu profonds*

On les trouve dans deux situations topographiques opposées. Les uns sont placés sur les sommets ou les versants des coteaux limagnais, également sur les faibles éminences de la plaine. Ils ont des taux élevés de calcaire, généralement compris entre 100 et 400 p. 1 000. Il s'agit de sols rendziniformes dont les composantes grossières sont réduites lorsqu'ils dérivent de limons. Le profil 2338 de Cournon en fournit un exemple.

Les autres sont situés, au contraire, dans les parties plates de la plaine et ont une teneur moins élevée en carbonates qui varie seulement de 0 à 200 p. 1 000. C'est le cas de la plupart des sols de la plaine limagnaise proprement dite qui possèdent un sous-sol plus calcaire que le sol de surface (profil 3129 d'Entraigues).

Dans l'ensemble de ces sols, les sables très fins (20-50 μ) représentent la fraction généralement le plus carbonatée.

TABLEAU 4

Variations du taux des carbonates dans les profils sur substratum imperméable

	Origine	Référence	Nature	Profondeur en mètres	Co_3Ca
Sols peu profonds	Cournon (coteau)	2338	sol	0,0-0,15	215
				0,3-0,4	254
			transition	0,7-0,9	392
	Entraigues (plaine)	3129	sol	0,0-0,15	26
				0,35-0,4	37
			limon	0,55-0,6	486
Sols profonds	Lempdes (piémont)	2290	sol	0,0-0,2	160
				0,4-0,75	145
				0,9-1,3	14
			limon vaseux	1,6-1,9	315
			limon	2,0-2,2	174
	Le Cendre (piémont)	3065	sol	0,15-0,35	346
				0,6-0,9	352
				0,9-1,2	312
				1,2-1,6	310
				1,6-1,85	188
			limon	2,2-2,5	597
				2,5-2,9	621

b) *Sols profonds*

Les sols profonds sont plus riches en CO_3Ca dans leurs niveaux supérieurs et cette règle ne souffre guère d'exceptions ; leurs carbonates sont relativement plus abondants dans les fractions grossières sauf en présence d'une surcharge à compo-

sante siliceuse appréciable. Leur localisation géographique correspond aux zones de piémont, si bien représentées à Lempdes (profil 2290), intermédiaires entre les deux situations précédentes. Le profil du Cendre (3065) fournit un exemple analogue mais en milieu fortement carbonaté. Il provient, en effet, d'une cuvette de quelques ares de surface entourée de tous côtés de versants calcaires ; d'où la puissance et la richesse en CO_3Ca du colluvionnement pédologique.

Ainsi, apparaît très nettement l'influence du facteur topographique sur la profondeur du sol, déjà signalée par P. Delaunay (1936), D. Collier (1949) et M. Derruau (1949 *a*), mais aussi sur la constitution des divers niveaux pédologiques ; d'où l'intérêt du paragraphe suivant.

5°) Variations de l'état calcique des sols le long des profils topographiques : interprétation des profils pédologiques

Pour mieux saisir les mécanismes qui commandent la distribution des carbonates dans les sols limagnais, nous avons étudié en détail les variations de cet élément suivant différents profils topographiques du grand « marais » de Saint-Ignat-Saint-André-le-Coq. Nous avons retenu deux de ces profils dont les résultats sont représentés sur la fig. 8.

Le profil topographique A-B traverse le marais dans sa partie méridionale, c'est-à-dire vers l'aval, où nous avons rencontré les sols les plus diversement carbonatés, donc les plus intéressants du point de vue qui nous préoccupe. Il est tracé depuis la route N 493 au point où elle contourne la terrasse a^{1a} de l'Allier au SE de Pagnan en direction de la cote 331 située au sud de Surat sur la route G. C. 10 ; nous avons limité ce profil au point B placé exactement au nord du bourg de Saint-Ignat.

Sur le bas du versant orienté O-SO, nous trouvons des sols profonds dans lesquels le taux des carbonates diminue avec la profondeur (profils 3122 et 3123) ; dans ces deux profils, un pseudo-mycélium de sels concrétionnés sur l'emplacement des radicelles vers les profondeurs de 80 à 110 cm, témoigne d'un assèchement particulier à l'époque des prélèvements (septembre). La forte teneur de 178 p. 1 000 observée à 40-50 cm dans le profil 3123 correspond à un apport colluvial momentanément plus carbonaté, attesté par la couleur plus claire de ce niveau ; il ne s'agit certainement pas d'une accumulation liée aux mouvements verticaux des sels solubilisés qui sont en réalité entraînés plus bas. Nous sommes donc en présence de profils inversés, formés par la superposition d'apports colluviaux de plus en plus calcaires. Ce processus est la conséquence des phénomènes d'érosion qui affectent en les rajeunissant les sols des coteaux limagnais.

Dans la petite dépression latérale, les profils 3125 et 3126 accusent à la fois une forte épaisseur et une plus grande richesse en carbonates à la base infirmant les règles précédemment énoncées. On retrouve ce genre de profil dans les zones basses de piémont où les sols subissent un engorgement prolongé par l'eau, résultant du rassemblement des eaux de ruissellement et de l'absence de chenaux naturels d'évacuation. Il s'agit de sols de gley typiques dans lesquels l'inefficacité du drainage explique l'accumulation en profondeur des carbonates.

Plus à l'ouest, la topographie marque une éminence à peine perceptible à l'œil

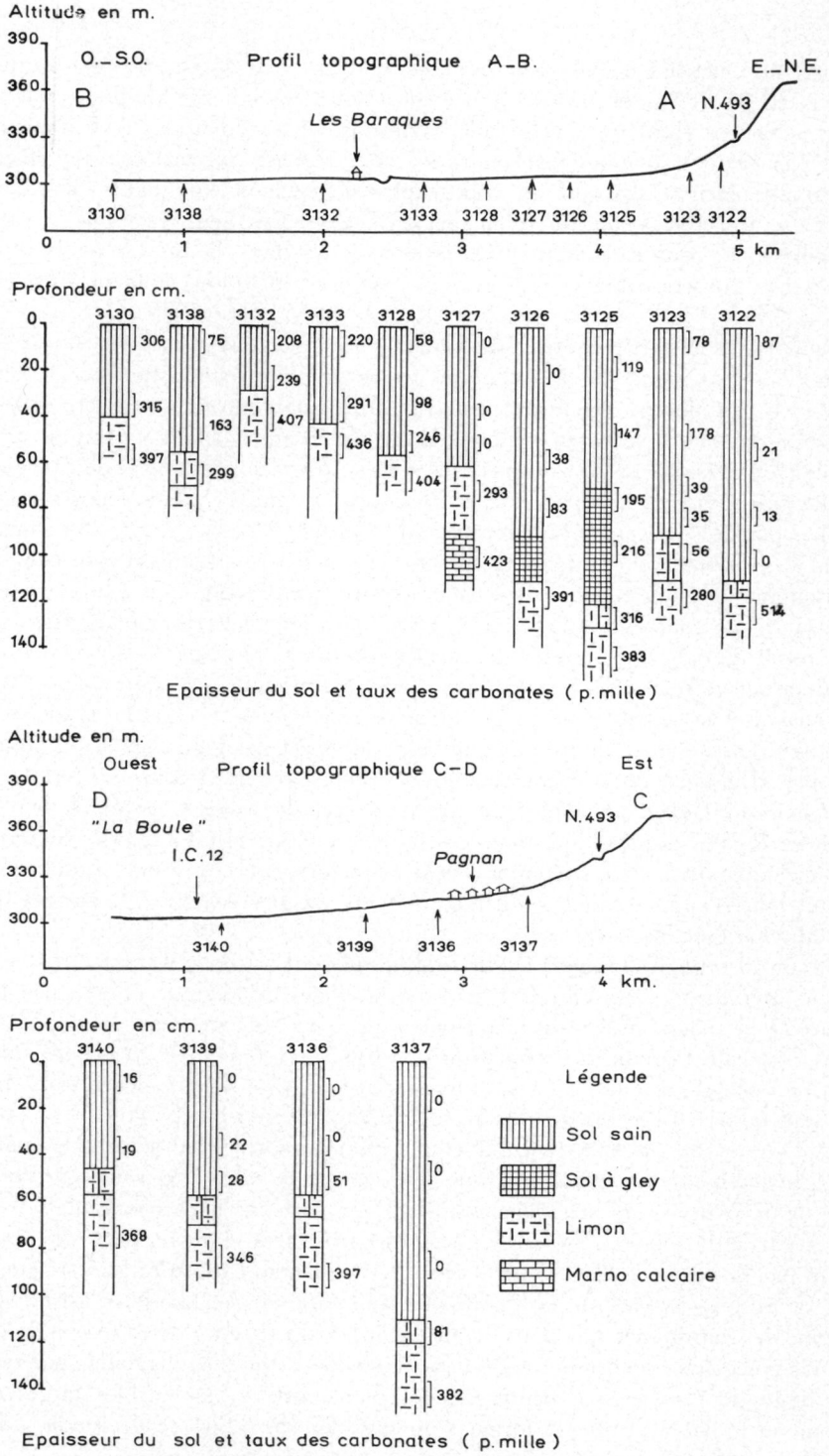


FIG. 8. — *Variations de l'épaisseur du sol et du taux des carbonates en fonction du relief (marais de Saint-André-le-Coq)*

qui porte un petit îlot de sols décarbonatés sur toute leur épaisseur, c'est-à-dire sur 30 à 60 cm (3127). Un tel profil doit être considéré comme le cas limite des sols avoisinants (3126 et 3128) qui présentent davantage de carbonates en profondeur. Il ne fait pas de doute que la décarbonatation complète est en relation avec l'efficacité du drainage facilité soit par la topographie légèrement dominante, soit par la présence d'un substratum relativement perméable. Ces deux facteurs favorables au drainage ne sont sans doute pas indépendants dans la mesure où les sables et les galets ont contribué à renforcer la cohésion du limon, donc sa résistance à l'érosion.

Dans toute la partie centrale du « marais » nous avons espacé les sondages car nous n'avons pas remarqué de variations topographiques particulières de la surface du sol. En fait, les profils y sont remarquablement homogènes par leur épaisseur qui oscille seulement entre 30 et 60 cm. Pourtant d'aussi faibles variations de profondeur ne paraissent pas étrangères à de fortes fluctuations du taux de carbonates. Presque tous les sols analysés ayant moins de 40 cm d'épaisseur possèdent 200 à 300 p. 1 000 de CO_3Ca assez bien répartis sur le profil (3130-3132-3133). Au contraire, les sols de 40 à 60 cm de profondeur entrent dans le cas général décrit précédemment et caractérisé par des teneurs bien différenciées et croissantes du haut vers le bas (3128-3138). Ce contraste qui survient parfois sur deux ou trois décamètres de distance résulterait de la remontée en surface du substratum par le labour. Pour se convaincre de cette réalité, il suffit de parcourir le « marais » à la période des labours et de constater les nombreuses taches grisâtres qui émaillent, çà et là, la glèbe noire de ces territoires. Nous ajouterons que le labour n'est pas la seule activité humaine qui a perturbé l'ordonnance naturelle du sol. Dans tout le « marais » de Surat-Saint-André-le-Coq, il existe à côté d'un réseau actuel de fossés d'assainissement, des tranchées fossiles aujourd'hui comblées de sol noir attestant l'œuvre de terrassement exécutée jadis par l'Homme ; tous ces fossés ont largement entaillé le substratum marno-calcaire dont les déblais ont été ensuite écartés à la surface du sol ainsi enrichie en carbonates.

Le profil topographique C-D diffère du précédent parce qu'il emprunte le vallonnement latéral qui, d'est en ouest, traverse le village de Pagnan ; il est tracé depuis la route N 493 jusqu'au lieu-dit « La Boule » au centre du « marais ».

A l'aval de Pagnan, les trois profils analysés (3136-3139 et 3140) ont une distribution normale des carbonates, croissant avec la profondeur ; leurs taux de calcaire sont faibles, à l'instar de tous les sols de la partie nord du « marais ».

A l'amont de Pagnan, le profil 3137 apparaît anormal par sa grande épaisseur de sol entièrement décarbonaté. Nous pensons que ce caractère résulte de l'interférence de deux processus interdépendants : d'une part une lente accumulation colluviale à partir de sols eux-mêmes faiblement carbonatés, d'autre part un drainage facilité par la pente et assuré par l'existence de chenaux souterrains sur l'emplacement de talwegs fossiles où les limons sont amendés par des sables. C'est au sud du domaine de Chardonnet que nous avons découvert l'existence de ce réseau de drains naturels grâce aux nombreux fossés d'assainissement tracés en diagonale par rapport à la ligne de plus grande pente. Ces fossés recoupent des lentilles larges de 10 à 50 m où le substratum est formé d'un mélange de sables et de limon, aussitôt sursaturé.

6°) Conclusions

Mises à part les remontées du substratum limoneux par le labour qui sont la conséquence directe de l'activité humaine, la teneur du sol en calcaire résulte en chaque point et à chaque niveau du bilan entre exportations et apports de carbonates.

Les *exportations* sont le fait du *drainage* des eaux de percolation du sol qui sont égales à la différence entre la pluie P (au ruissellement près) et l'évapotranspiration ET, le sol intervenant dans ce bilan comme facteur tampon par sa capacité de rétention globale pour l'eau (interférence de sa *richesse en colloïdes* et de sa *profondeur*). Dans les conditions naturelles, la différence P — ET dépend de l'harmonie entre le régime des pluies d'une part, celui des températures et de l'état hygrométrique de l'air d'autre part, qui conditionnent la nature et la puissance de la couverture végétale climacique et ainsi la valeur de l'évapotranspiration.

Or, sous le climat actuel de la Limagne, en conditions culturales normales, on sait que le drainage devient nul, en moyenne, sous un sol profondément exploitable de 1,5 à 2 m (M. Robelin, 1960). Ces conclusions concernent exclusivement les sols argileux doués d'une forte capacité de rétention pour l'eau ; au contraire, tous les sols d'alluvions dont la composante sableuse est appréciable, sont assujettis au drainage et à la décarbonatation consécutive. D'autre part, ces conclusions s'appliquent à un système de culture qui prive le sol de végétation pendant une partie de l'année ; par conséquent, elles constituent une estimation maximum. En revanche, les paléoclimats du Postglaciaire ont comporté des épisodes certainement plus humides que le climat actuel comme nous le confirmerons plus loin, au cours desquels le lessivage du sol a constamment été plus marqué.

Encore faut-il que les eaux de percolation soient évacuées. C'est alors qu'interviennent la *qualité* et l'*inclinaison* du *substratum*. Sur les pentes, l'écoulement des eaux infiltrées est toujours réalisé, quel que soit le substratum. Mais il en va autrement dans les zones basses où se créent des nappes phréatiques temporaires, parfois même permanentes, dans les cuvettes creusées précisément sur les affleurements de marnes dont les limons sont imperméables.

A l'intérieur du sol, les carbonates dissous accompagnent les pulsations hydriques qui marquent les phases de dessèchement et de réhumectation. Si les phénomènes de remontée sont indiscutables, leur amplitude est liée au gradient de dessiccation du sol. Or, en Limagne, et dans les conditions actuelles de cultures annuelles prédominantes, les efflorescences qui traduisent lors de la dessiccation la plus forte concentration saline des solutions du sol, sont localisées entre les profondeurs de 80 à 140 cm. Nous sommes porté à croire que ce niveau correspond à la zone moyenne de descente des eaux de percolation.

Quant aux *apports* d'éléments calcaires, ils sont le fait des *colluvionnements* qui provoquent le rajeunissement des sols des coteaux et des croupes et qui amènent ainsi dans les zones d'accumulation des matériaux progressivement plus riches en carbonates suivant le processus classique d'inversion de profil. D'où le gradient des taux de CO_3Ca qui s'élèvent de bas en haut dans les sols colluviaux des zones de piémont.

Cependant, dans certaines parties basses de la plaine, situées en position marginale, la nappe phréatique est aussi alimentée par des *venues latérales* préalable-

ment saturées de bicarbonates et susceptibles de compenser — parfois même au-delà — les pertes en carbonates subies par les couches superficielles du sol. Ainsi, s'expliquerait l'existence de sols profonds conservant des teneurs plus élevées de CO_3Ca dans leurs niveaux inférieurs constamment baignés par la nappe. De semblables

FIG. 9. — *Sols calcimorphes de Limagne*

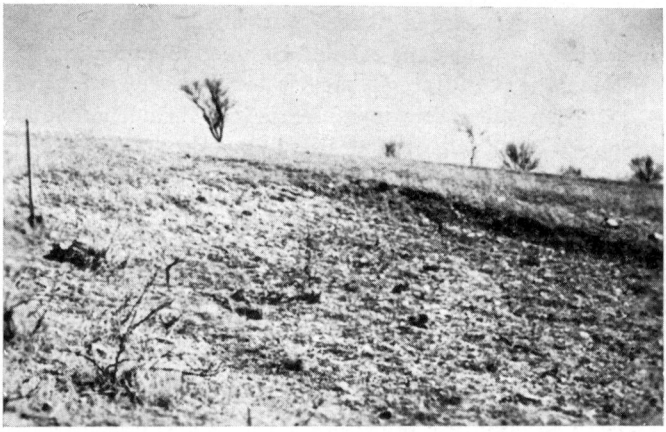


Photo 1. — *Parcelle soumise à l'érosion vers le sommet des coteaux calcaires de Gandaillat*

Photo 2. — *Sol de pente sur limon colluvial. Affleurement en biseau des marno-calcaires (Clermont-Herbet)*

particularités morphogénétiques distinguent les « chernozems phréatique-humides » de la plaine roumaine par comparaison aux chernozems zonaux (N. FLOREA, 1956).

La distribution des carbonates dans les sols argileux de Limagne apparaît donc comme un excellent critère pour définir une *toposéquence*, c'est-à-dire une succession de sols liés les uns aux autres en fonction de leur situation topographique (fig. 9).

En position haute, les croupes et les pentes des buttes stampiennes portent

Photo 3. — *Sol colluvial de piémont superposé à un sol fossile*
Remarquer le biseau d'affleurement des marno-calcaires (Clermont-Chanterrane)

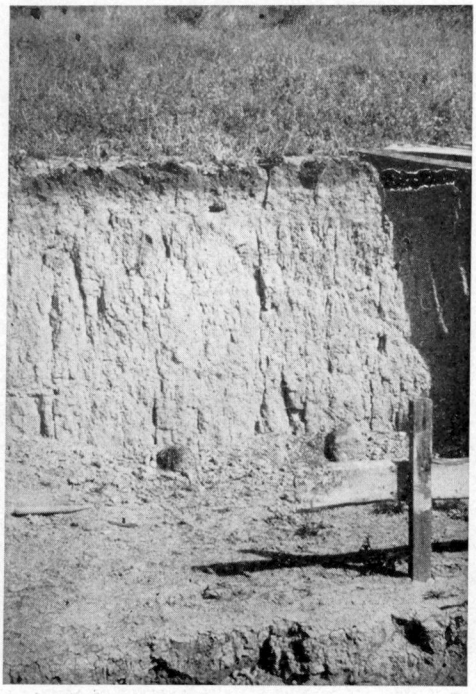


Photo 4. — *Sol jeune de coteau sur limon colluvial argilo-calcaire très épais (Veyre)*

Photo 5. — *Sol colluvial de piémont très profond sur un limon mince* (*Lempdes*)

Photo 6. — *Fossé d'assainissement dans le marais de Saint-André-le-Coq*
Sols peu profonds sur un limon mince

des sols rendziniformes, plus ou moins calcaires et caillouteux suivant la nature de la roche-mère, plus ou moins dégradés suivant le relief car sans cesse rajeunis par l'érosion qui contrarie l'évolution pédologique (photos 1, 2 et 4).

Dans les zones de piémont, l'accumulation colluviale réalise des profils inversés avec le dépôt de sols de plus en plus carbonatés. L'accroissement du taux de calcaire n'est cependant pas toujours régulièrement observé de bas en haut du profil, des lits momentanément moins riches en CO_3Ca pouvant s'intercaler à la suite d'accalmies dans les phénomènes d'érosion (photos 3 et 5).

A l'intérieur de la plaine, à distance des coteaux, l'évolution pédologique a conduit jusqu'à la formation de sols bruns calcaires, profonds de 30 à 50 cm encore carbonatés à leur base (photo 6). L'évolution est même parvenue jusqu'à la décarbonatation complète du profil lorsque de faibles variations topographiques ou la présence d'un substratum relativement perméable ont favorisé le drainage, mais le lessivage des colloïdes n'a jamais été observé.

Ce schéma ne tient pas compte des apports longitudinaux essentiellement sableux qui ont surchargé les sols le long des cours d'eau limagnais.

En marge de cette toposéquence de sols calcimorphes, existent sur les terrasses anciennes des sols caractérisés par leur capacité d'échange inférieure à 30 m. val./100 g.

D. — Les matières organiques

Les sols des basses plaines de la Limagne doivent à leur couleur particulièrement foncée leur vocable de « Terres Noires ». Bien que l'opinion ancienne, rapportée par Lecoq (1867), ait attribué cette coloration noire à la présence de cendres volcaniques, les auteurs contemporains : P. Delaunay (1936), H. Malterre (1940), D. Collier (1949) et M. Derruau (1949 *a*), sont unanimes à la rattacher à la nature de leur humus.

Aussi, avons-nous estimé indispensable de définir les caractères essentiels des matières organiques des sols limagnais, à partir desquels nous espérons dégager des indications complémentaires sur leur genèse. Mais, D. Collier (1949) ayant souligné la présence de matières organiques fossiles dans les marno-calcaires de Limagne, nous avons étendu nos recherches à toutes les formations qui constituent le substratum des sols.

Pour réaliser ce programme, nous avons utilisé la méthode de I. V. Tuyrin (1951) qui fractionne les matières organiques en fonction de leur degré de polymérisation. Tyurin sépare ainsi les composés humiques suivants :

1°) les *acides fulviques* qui sont des composés solubles *non précipitables par* SO_4H_2 et qui se subdivisent en :

— *acides fulviques libres* (F1), constitués d'acides organiques et de composés phénoliques très actifs vis-à-vis des colloïdes minéraux ;

— *acides fulviques liés aux acides humiques* (F2 et F3), beaucoup moins actifs car moins acides (polysaccharides et uronides).

2°) *les acides humiques et leurs « précurseurs », précipitables par* SO_4H_2 comprenant :

— *les acides humiques libres et « précurseurs »* (H1), incomplètement saturés et faiblement liés à l'argile, formés après oxydation de la lignine ; ils ne permettent pas d'assurer une structure stable ;

— *les acides humiques liés aux argiles*, soit par le calcium (H2), soit par les sesquioxydes de fer et d'alumine (H3), résultant de synthèses microbiennes après transformation de la cellulose et des hémi-celluloses ; ils sont de couleur très foncée et fortement liés aux colloïdes minéraux ; ils assurent une structure très stable.

1°) Les marno-calcaires

Nous avons analysé un lot de 8 roches choisies de manière à représenter un large éventail de leurs caractères essentiels : teneur en carbone organique, teneur en carbonates, dureté et structure. Nos échantillons proviennent des carrières de Joze et de Limons qui sont ou ont été exploitées pour fournir de la pierre à chaux et qui entaillent profondément les assises stampiennes.

Nous avons adopté la terminologie de L. Cayeux (1935) pour qualifier de marnes les roches argilo-calcaires titrant moins de 500 p. 1 000 de carbonates.

Nous avons réalisé l'extraction des composés solubles seulement sur les échantillons préalablement décarbonatés et décalcifiés. En effet, le traitement à ClH présente le double avantage de transformer les roches en un résidu de particules finement divisées et d'éliminer les sels ferreux qui faussent le dosage du pouvoir réducteur à partir duquel est déterminé le carbone. Nous mesurons ainsi globalement les fractions H1 + H2 d'une part et F1 + F2 d'autre part.

a) *Résultats analytiques*

Les résultats sont donnés au tableau 5 où nous avons classé les échantillons suivant le taux de carbone total.

Dans l'ensemble, le taux de CO_3Ca diminue alors que la teneur en carbone augmente, variation inverse logique puisque, abstraction faite du résidu minéral non carbonaté, ces deux constituants sont complémentaires. Mais le rapport du carbone au résidu non carbonaté prouve qu'il n'existe pas, en fait, de dépendance réelle entre matières organiques et carbonates.

Ensuite, parmi les 8 roches analysées, il apparaît deux groupes d'égale importance. En effet, tous les calcaires et la marne n° 2 de Limons, proche de la limite conventionnelle de 500 p. 1 000, possèdent des matières organiques dont une proportion remarquable est soluble puisque leur taux d'humification varie de 32,2 à 40,2 p. 100 ; alors que les autres marnes ne libèrent que de 13,5 à 20,3 p. 100 de fractions solubles, soit approximativement la moitié. Ce contraste provient principalement de la fraction F1 + F2 et aussi de H1 + H2. Les rapports $\Sigma H/\Sigma F$ sont moins élevés dans les calcaires. Enfin, H3 et F3 ne représentent que 10 à 30 p. 100 des fractions solubles.

b) *Interprétation*

Parce qu'il s'agit de matières organiques de sédiments tertiaires, lacustres ou lagunaires, il nous paraît délicat d'interpréter ces résultats sur la base des considérations formulées par Tyurin et appliquées à des processus pédologiques.

Il est un fait que les matières organiques évoluent dans les sédiments puisque,

dans certaines conditions de milieu, elles conduisent à la formation d'hydrocarbures par pyrogénation. Or précisément, on sait depuis le Haut Moyen-Age au moins, que certaines assises stampiennes de Limagne sont imprégnées de bitume. La richesse en carbone total et la solubilité appréciable dans la soude diluée ne paraît donc pas surprenante.

Le contraste de solubilité observé entre marnes et calcaires doit être recherché dans les conditions différentielles de leur genèse. Il est généralement admis que les variations de nature, d'état et de structure observées dans les sédiments traduisent des modifications climatiques locales ; en périodes d'érosion sur le bassin d'alimentation, les eaux douces diluent les eaux saumâtres et déposent des marnes alors que les calcaires plus ou moins purs se forment au cours de phases chaudes et sèches. Parce que les faciès observés dans les marno-calcaires stampiens de Limagne sont très divers, on est en droit de supposer que des modifications climatiques importantes ont présidé à leur genèse et ont exercé également une action sur la nature et l'intensité de l'activité biologique du milieu sédimentaire dont les organismes constitueraient l'origine essentielle des matières organiques fossiles.

c) *Conclusions*

Il importe finalement de retenir que les roches marno-calcaires de Limagne possèdent des teneurs parfois élevées en carbone organique qui, rapportées au résidu non carbonaté, sont comprises entre 12 et 45 p. 1 000, c'est-à-dire peu inférieures à celles des sols comme nous le verrons plus loin ; 13 à 40 p. 100 de ce carbone est soluble dans la soude diluée.

Ces faits qui concernent les matières organiques appellent d'autres commentaires sur la nature particulière des marno-calcaires de Limagne dont l'étude chimique et minéralogique reste à faire ; nous nous limitons à quelques remarques susceptibles de fournir des raisons sur les variations de couleur des sols de Limagne.

A la lumière de nos observations et de nos mesures, il apparaît que la couleur grise des calcaires et surtout des marnes coïncide avec les hautes teneurs en carbone rapportées au résidu non carbonaté. Ces constatations sont en accord avec les travaux de Trask et Patnode (1942).

De même, nous avons constaté que l'attaque des marno-calcaires par l'acide chlorhydrique fournit des extraits dont les teintes s'échelonnent du jaune rougeâtre jusqu'au vert. Or, selon Strakhov (1957) ces variations de couleur résultent pour beaucoup des rapports entre ions ferreux et ions ferriques au sein des calcaires, la teinte rougeâtre étant liée évidemment à la forme oxydée et le vert à la forme réduite. A la suite de nos observations, nous sommes convaincu que l'état du fer dans les roches marno-calcaires exerce une influence directe sur la coloration des sols. Ainsi, les sols ocres rougeâtres de la région d'Aigueperse-Gannat correspondent à une zone dans laquelle les roches du substratum fournissent des extraits chlorhydriques jaune-rouge. De même, sur une surface réduite observée au sud-est du bourg de Lempdes, la couleur des sols, normalement gris foncé, acquiert un composante rougeâtre dès qu'apparaît un substratum présentant des taches rouilles d'oxyde ferrique. Au contraire, la teinte noire des sols largement dominants dans la partie centrale et méridionale de la Limagne, paraît liée à la prépondérance du fer ferreux dans les roches-

TABLEAU 5

Fractionnement des matières organiques contenues dans les marno-calcaires, les limons et les vases lacustres

Origine	Nature ou référence	P. 1 000 de matière totale sèche				C p. 1 000 de résidu non carbonaté	P. 100 de carbone									
							Acides humiques				Acides fulviques				$\frac{\Sigma H}{\Sigma F}$	$\Sigma H + \Sigma F$
		CO_3Ca	C	N	C/N		H1	H2	H3	ΣH	F1	F2	F3	ΣF		
							Marno-calcaires									
Joze 1	Calcaire gris compact et très dur	914	2,7	0,23	11,7	31,4	22,7		3,4	26,1	5,3		0,8	6,1	4,27	32,2
							71		*11*	*82*	*16*		*2*	*18*		*100*
Joze 2	Calcaire blanc peu dur	735	3,2	0,17	18,8	12,2	21,2		3,2	24,4	6,5		2,4	8,9	2,38	33,3
							63		*10*	*73*	*20*		*7*	*27*		*100*
Limons 1..	Calcaire compact et dur	669	8,1	0,60	13,5	24,5	25,7		5,6	31,3	7,1		1,8	8,9	3,53	40,2
							64		*14*	*78*	*18*		*4*	*22*		*100*
Limons 2..	Marne pulvérulente	486	8,6	0,54	15,9	16,7	20,0		4,3	24,3	7,1		1,8	8,9	2,73	33,2
							60		*13*	*73*	*22*		*5*	*27*		*100*
Joze 3	Marne claire, compacte mais friable	314	9,2	0,57	16,1	13,4	12,3		4,6	16,9	2,1		1,3	3,4	3,47	20,3
							60		*23*	*83*	*10*		*7*	*17*		*100*
Joze 4	Marne feuilletée	148	13,2	0,69	19,1	15,5	11,8		0,2	12,0	1,7		0,6	2,3	5,21	14,3
							82		*2*	*84*	*12*		*4*	*16*		*100*
Joze 5	Marne grise feuilletée	250	23,5	0,88	26,7	31,3	8,9		3,2	12,1	0,8		0,6	1,4	8,64	13,5
							66		*24*	*90*	*6*		*4*	*10*		*100*
Limons 3..	Marne grise foncée en plaquettes	405	26,5	1,06	25,0	44,5	10,9		3,7	14,6	1,9		0,7	2,6	5,62	17,2
							63		*22*	*85*	*11*		*4*	*15*		*100*

Joze.....	2918 *e*	755	6,1	0,32	19,0	24,9	1,0	8,1	9,8	18,9	0,5	6,1	3,6	10,2	1,86	29,1
							3	*28*	*34*	*65*	*2*	*21*	*12*	35		*100*
Lempdes..	2998 *d*	527	5,8	0,54	10,8	12,3	3,1	7,4	11,3	21,8	3,3	2,2	3,5	9,0	2,42	30,8
							10	*24*	*37*	*71*	*11*	*7*	*11*	*29*		*100*
	e	535	22,0	0,96	22,9	47,3	1,0	3,0	2,7	6,7	0,7	0,5	0,9	2,1	3,19	8,8
							11	*34*	*31*	*76*	*8*	*6*	*10*	*24*		*100*
Ennezat...	2999 *d*	573	5,1	0,45	11,3	12,0	2,2	6,5	1,2	9,9	1,5	1,4	2,4	5,3	1,87	15,2
							14	*43*	*8*	*65*	*10*	*9*	*16*	*35*		*100*
Cournon...	3116 *f*	520	15,1	0,63	24,0	31,5	0,8	3,0	1,1	5,5	1,0	0,2	1,0	2,2	2,50	7,7
							10	*47*	*14*	*71*	*13*	*3*	*13*	*29*		*100*
Lempdes..	3106 *h*	490	37,2	1,55	24,0	73,0	2,3	7,4	3,3	13,0	1,0	1,6	1,5	4,1	3,18	17,1
							13	*44*	*19*	*76*	*6*	*9*	*9*	*24*		*100*
	l	407	7,9	0,60	13,2	13,3	3,4	5,7	5,1	14,2	3,3	4,8	2,8	10,9	1,30	25,1
							14	*23*	*20*	*57*	*13*	*19*	*11*	*43*		*100*
	p	147	41,7	0,88	47,5	48,9	1,7	4,3	1,1	7,1	1,0	0,5	0,5	2,0	3,55	9,1
							19	*47*	*12*	*78*	*11*	*6*	*5*	*22*		*100*
St-André-le-Coq ..	3016 *c*	247	27,5	1,09	25,2	36,5	1,2	6,5	3,1	10,8	1,4	3,3	1,5	6,2	1,74	17,0
							7	*39*	*18*	*63*	*8*	*19*	*9*	*36*		*100*

Vases lacustres

Lempdes...	2998 *c*	246	23,2	1,21	19,4	30,8	0,6	31,1	3,1	34,8	0,5	6,1	4,2	10,8	3,22	45,6
							1	*68*	*8*	*77*	*1*	*13*	*9*	*23*		*100*
Lempdes...	3106 *i*	232	25,9	1,25	20,7	33,7	4,5	29,1	5,6	39,2	1,1	3,5	2,2	6,8	5,77	46,0
							10	*63*	*12*	*85*	*2*	*8*	*5*	*15*		*100*
Cournon...	3116 *c*	465	10,4	0,71	14,7	19,4	1,9	16,1	6,0	24,0	1,0	2,7	2,0	5,7	4,22	29,7
							6	*55*	*20*	*81*	*3*	*9*	*7*	*19*		*100*
	d	463	16,6	1,12	14,8	30,9	1,4	14,6	7,0	23,0	0,9	3,0	2,1	6,0	3,83	29,0
							5	*50*	*24*	*79*	*3*	*11*	*7*	*21*		*100*
	e	455	21,4	1,36	15,8	39,2	1,6	17,5	6,1	25,2	0,9	1,9	2,3	5,1	4,92	30,3
							5	*58*	*20*	*83*	*3*	*6*	*8*	*17*		*100*

mères. En fait, l'origine de la couleur des sols limagnais donnerait matière à une étude particulière. Il ne faut pas oublier, en effet, qu'à l'exception des sols à gley, les sols noirs de Limagne ne contiennent pas de fer ferreux.

2°) Les limons

Comme pour les marno-calcaires, la teneur en carbone et en azote des limons présente de larges fluctuations non seulement d'un point à l'autre, mais aussi au sein d'un même profil comme le prouvent les deux exemples de Lempdes. Ces variations ne sont pas nécessairement parallèles si bien que le rapport C/N est lui-même fluctuant.

a) *Résultats*

Le fractionnement des matières organiques réalisé sur quelques limons conduit aux résultats suivants (tableau 5).

Nous retrouvons globalement des caractères analogues à ceux des marno-calcaires, ce qui n'a rien de surprenant. Le carbone soluble représente de 7,7 à 30,8 p. 100 du C total avec une prépondérance constante des acides humiques sur les acides fulviques, si bien que les rapports $\Sigma H/\Sigma F$ s'échelonnent de 1,30 à 3,55. Par contre la distribution des humates est hétérogène, en particulier la proportion de H3 est très variable.

b) *Interprétation*

Les interprétations formulées pour les marno-calcaires sont valables pour les limons dont les matières organiques possèdent les mêmes caractères. Ces analyses confirment une nouvelle fois l'analogie de constitution entre ces deux types de substratum, étroitement liés l'un à l'autre.

Cependant, pour compléter cette comparaison, nous devons préciser que nous n'avons jamais rencontré de limon dont l'extrait chlorhydrique soit vraiment teinté de vert. Le remaniement, caractéristique essentielle des limons, aurait donc pour effet l'oxydation des sels ferreux des marno-calcaires.

3°) Les vases lacustres

Avec les vases qui font suite aux limons dans l'ordre des dépôts stratigraphiques il faut s'attendre à voir apparaître des caractères nouveaux résultant de l'introduction de matières organiques d'âge beaucoup plus récent.

Les échantillons analysés proviennent des deux localités où nous avons la certitude qu'une nappe d'eau libre ait existé, c'est-à-dire les marais de Marmillat (Lempdes) et de Sarlièvre (Cournon). Les vases de Cournon dégagent une forte odeur sulfhydrique, principalement le niveau *e*, le plus profond.

a) *Résultats* (*tableau* 5)

La richesse en carbone total n'est pas très élevée et décroît notablement dans les niveaux supérieurs de Cournon. Les rapports C/N sont forts mais n'ont rien de surprenant. Par rapport aux limons et aux marno-calcaires, le fractionnement des

matières organiques montre une plus grande proportion de composés humifiés résultant surtout de l'augmentation de la fraction H2 qui contient à elle seule 50 à 68 p. 100 du carbone soluble.

Nous verrons au chapitre suivant que cette modification peut être attribuée à l'incorporation d'éléments ayant subi une évolution pédologique.

b) *Interprétation*

Les résultats de Lempdes et de Cournon comportent des différences dans les valeurs du C/N et du taux d'humification. Nous pensons que ces écarts dépendent de l'environnement sédimentaire des deux localités.

A Sarlième, les conditions morphologiques sont telles qu'un relief important soumis fortement à l'érosion se trouve presque de tous côtés à proximité immédiate de la zone de sédimentation lacustre, elle-même étendue.

Au contraire, à Marmillat, la nappe d'eau n'a jamais été profonde, probablement de l'ordre de 1 à 2 m au plus, et elle est bordée seulement au sud par un relief appréciable dont elle est, en outre, séparée par un piémont assez large. En conséquence, d'une part la zone bordière courverte de végétaux aquatiques supérieurs est relativement plus importante à Marmillat et d'autre part l'érosion contrarie plus fortement l'évolution pédologique dans l'environnement de Sarlième. Il en résulte que la sédimentation s'effectue à Marmillat à partir de matériaux pédologiques plutôt que géologiques, inversement à Sarlième. Le taux des carbonates confirmerait cette opinion. De même, les plus fortes valeurs du C/N observées à Lempdes marqueraient le caractère palustre plutôt que lacustre de ce site.

La transformation des matières organiques étant beaucoup plus lente dans les milieux anaérobies sous-lacustres que dans les sols calcaires, nous pensons que les analyses reflètent surtout des caractères acquis antérieurement à la sédimentation des vases.

4°) Les sols

Dans les sols, l'évolution des matières organiques résulte de processus biologiques qui dépendent eux-mêmes de nombreux facteurs. Sur ce point, nous renvoyons le lecteur au Précis de Pédologie de Ph. Duchaufour (1960 *a*) dans lequel sont clairement exposées les influences exercées par le climat, par la roche-mère, par la topographie et par la nature des résidus organiques.

A l'intérieur du périmètre de notre étude, nous avons cherché à déterminer les modifications engendrées sur les composés organiques par certains facteurs considérés à priori comme essentiels : l'état calcique et l'aération du sol, eux-mêmes sous la dépendance du régime hydrique et du travail du sol ; également l'érosion, par le rajeunissement qu'elle provoque. Une fois définies ces variations locales, nous chercherons à établir des comparaisons avec des sols analogues et avec d'autres sols de la région.

a) *Résultats*

Tous les résultats des analyses consacrées à des sols de plaine sont rassemblés au tableau 6.

La première partie de ce tableau concerne des *sols carbonatés sous prairies*

TABLEAU 6

Fractionnement des matières organiques contenues dans les sols de plaine

Origine	Référence	Profondeur en mètres	P. 1000 de terre fine sèche				Pour 100 de carbone									
							Acides humiques				acides fulviques				$\frac{\Sigma H}{\Sigma F}$	$\frac{\Sigma H}{\Sigma H + \Sigma F}$
			CO_3Ca	C	N	C/N	H1	H2	H3	ΣH	F1	F2	F3	ΣF		
Sols de prairies permanentes																
St-André-le-Coq	3125 *a*	0,1-0,2	119	26,0	2,43	11,0	2,6	27,9	5,9	36,4	2,4	13,0	7,2	22,6	1,61	59,0
							4	*48*	*10*	*62*	*4*	*22*	*12*	*38*		*100*
	b	0,45-0,5	147	14,7	1,22	12,0	1,7	42,3	8,5	52,5	1,7	18,5	5,4	25,6	2,05	78,1
							2	*54*	*11*	*67*	*2*	*24*	*7*	*33*		*100*
	c.....	0,75-0,8	195	11,7	0,90	12,9	1,8	46,4	7,7	55,9	1,0	13,8	5,7	20,5	2,75	76,4
							2	*61*	*10*	*73*	*1*	*18*	*8*	*27*		*100*
	d	0,95-1,0	216	8,55	0,67	12,8	2,5	49,2	9,9	61,6	1,0	12,7	6,5	20,2	3,05	81,8
							3	*60*	*12*	*75*	*1*	*16*	*8*	*25*		*100*
St-André-le-Coq	19 *a*	0,1-0,2	133	22,1	2,01	11,0	2,3	32,9	5,2	40,4	1,8	17,9	6,3	26,0	1,55	66,4
							3	*50*	*8*	*61*	*3*	*27*	*9*	*39*		*100*
	b	0,35-0,4	145	17,0	1,55	11,0	1,8	34,8	8,6	45,2	1,3	15,6	6,0	22,9	1,97	68,1
							2	*51*	*13*	*66*	*2*	*23*	*9*	*34*		*100*
	c.....	0,6-0,7	320	10,1	0,92	11,0	1,6	42,8	9,0	53,4	1,0	17,4	7,0	25,4	2,10	78,8
							2	*54*	*12*	*68*	*1*	*22*	*9*	*32*		*100*
	d	0,9-1,0	318	8,85	0,60	14,7	1,3	49,5	9,5	60,3	0,7	11,2	6,5	18,4	3,28	78,7
							2	*63*	*12*	*77*	*1*	*14*	*8*	*23*		*100*
St-André-le-Coq	24 *a*	0,1-0,2	18	16,7	1,47	11,4	2,0	37,3	7,9	47,2	4,0	14,3	4,4	22,7	2,08	69,9
							3	*53*	*11*	*67*	*6*	*21*	*6*	*33*		*100*
	b	0,35-0,45	29	13,5	1,19	11,3	1,5	45,2	5,8	52,5	3,4	14,2	4,9	22,5	2,33	75,0
							2	*60*	*8*	*70*	*5*	*19*	*6*	*30*		*100*
	c.....	0,6-0,7	90	9,6	0,75	12,8	1,1	52,0	9,4	62,5	1,4	17,8	5,3	24,5	2,55	87,0
							1	*60*	*11*	*72*	*2*	*20*	*6*	*28*		*100*

St-André-le-Coq	27*a*	0,1-0,2	tr.	31,1	2,80	11,1	2,7	17,6	9,7	30,0	3,9	10,4	5,6	19,9	1,51	49,9
							6	*35*	*19*	*60*	*8*	*21*	*11*	*40*		*100*
	b	0,2-0,4	31	17,3	1,65	10,5	1,8	23,0	8,8	33,6	5,3	12,6	4,7	22,6	1,49	56,2
							3	*41*	*16*	*60*	*10*	*22*	*8*	*40*		*100*
	c.....	0,4-0,6	89	14,35	1,42	10,1	1,7	37,6	7,0	46,3	1,8	12,8	4,0	18,6	2,49	64,9
							3	*57*	*11*	*71*	*3*	*20*	*6*	*29*		*100*
							Sols de cultures									
Surat	3138 *a*	0,1-0,2	75	26,5	2,38	11,1	2,8	31,5	6,1	40,4	1,6	11,2	5,9	18,6	2,17	59,0
							5	*53*	*10*	*68*	*2*	*19*	*10*	*31*		*100*
	b	0,4-0,45	163	17,7	1,70	10,4	1,2	43,1	6,2	50,5	1,0	11.4	3,2	15,6	3,24	66,1
							2	*65*	*9*	*76*	*2*	*17*	*5*	*24*		*100*
St-André-le-Coq	26 *a*	0,0-0,2	74	30,0	2,54	11,8	2,4	26,6	7,4	36,4	3,7	10,8	3,4	17,9	1,98	54,3
							4	*49*	*14*	*67*	*7*	*20*	*6*	*33*		*100*
	b	0,2-0,35	163	15,8	1,37	11,5	1,9	33,6	8,0	43,5	1,4	14,3	3,9	19,6	2,22	63,1
							3	*53*	*13*	*69*	*2*	*23*	*6*	*31*		*100*
St-André-le-Coq	3131	0,0-0,3	199	20,2	1,80	11,2	1,8	30,3	7,5	39,6	1,0	17,1	6,1	24,2	1,64	63,8
							3	*47*	*42*	*62*	*2*	*27*	*9*	*38*		*100*
St-André-le-Coq	3132	0,0-0,2	208	19,5	2,07	9,4	2,8	30,4	5,9	39,1	1,1	17,1	6,6	24,8	1,60	63,9
							4	*47*	*9*	*60*	*2*	*27*	*10*	*39*		*100*
St-André-le-Coq	3135	0,0 -0,2	171	28,9	2,50	11,5	2,3	36,8	5,2	44,3	0,9	14,4	4,8	20,1	2,20	64,4
							4	*57*	*8*	*69*	*2*	*22*	*7*	*31*		*100*
Seychalles	3096 *a*	0,0 -0,2	484	34,6	2,18	10,9	1,7	32,8	6,9	41,4	0,7	15,3	4,3	20,3	2,04	61,7
							3	*53*	*11*	*67*	*1*	*25*	*7*	*33*		*100*
	b	0,2 -0,3	544	35,3	3,05	11,6	1,4	41,6	5,2	48,2	0,8	15,6	3,9	20,3	2,37	68,5
							2	*61*	*7*	*70*	*1*	*23*	*6*	*30*		*100*
	c.....	0,3 -0,5	624	22,7	1,51	15,1	1,0	48,5	5,5	55,0	1,1	14,5	3,8	19,4	2,58	74,4
							1	*65*	*8*	*74*	*1*	*20*	*5*	*26*		*100*
Le Cendre	3065	0,15-0,3	346	20,8	2,09	10,0	1,0	20,3	7,2	28,5	0,9	11,3	5,5	17,7	1,61	46,2
							2	*44*	*16*	*62*	*2*	*24*	*12*	*38*		*100*

TABLEAU 7

Fractionnement des matières organiques contenues dans les autres sols de Limagne

Origine	Référence	Profondeur en mètres	P. 1000 de terre fine sèche				P. 100 de carbone									
							Acides humiques				Acides fulviques				$\frac{\Sigma H}{\Sigma F}$	$\frac{\Sigma H}{\Sigma H + \Sigma F}$
			CO_3Ca	C	N	C/N	H1	H2	H3	ΣH	F1	F2	F3	ΣF		
Sols de piémont																
Cournon	3141 *a*	0,0-0,1	20	28,5	2,08	13,7	1,7	19,3	13,4	34,4	3,1	5,5	4,2	12,8	2,69	47,2
							4	*41*	*28*	*73*	*7*	*11*	*9*	*27*		*100*
	b	0,15-0,25	39	17,6	1,27	13,8	1,3	21,8	7,7	30,8	3,3	6,7	3,8	13,8	2,23	44,6
							3	*49*	*17*	*69*	*7*	*15*	*9*	*31*		*109*
	c.....	0,4-0,55	27	20,7	1,55	13,4	0,7	32,5	4,7	37,9	3,6	9,5	2,6	15,7	2,42	53,6
							1	*61*	*9*	*71*	*6*	*18*	*5*	*29*		*100*
Lempdes	2997 *a*	0,0-0,35	227	21,7	2,05	10,6	2,1	20,3	7,4	29,8	1,2	11,3	6,5	19,0	1,57	48,8
							4	*42*	*15*	*61*	*3*	*23*	*13*	*39*		*100*
	b	0,4-0,75	173	12,3	0,91	13,7	1,6	37,2	12,2	51,0	2,0	7,2	11,1	20,3	2,51	71,3
							2	*52*	*18*	*72*	*3*	*10*	*15*	*28*		*100*
	c.....	0,85-1,05	206	11,2	0,65	17,2	1,2	38,1	8,5	47,8	2,7	4,9	10,3	17,9	2,67	65,7
							2	*58*	*13*	*73*	*4*	*7*	*16*	*27*		*100*
	d	1,4-1,9	0	18,4	0,80	23,0	1,0	21,7	27,2	49,9	2,0	4,1	3,3	9,4	5,31	59,3
							2	*36*	*46*	*84*	*3*	*7*	*6*	*16*		*100*
	e.....	2,3-2,5	0	21,6	0,85	25,4	1,3	25,2	26,5	53,0	1,3	4,0	2,3	7,6	6,97	60,6
							2	*41*	*44*	*87*	*2*	*7*	*4*	*13*		*100*
Lempdes	2998 *a*	0,0-0,3	145	28,6	2,56	11,2	3,5	37,7	8,8	50,0	1,3	13,9	3,3	18,5	2,70	68,5
							5	*55*	*13*	*73*	*2*	*20*	*5*	*27*		*100*
	b	0,5-0,7	0	35,5	1,54	22,9	0,5	26,4	27,5	54,4	0,9	4,9	1,5	7,3	7,05	61,7
							1	*42*	*45*	*88*	*1*	*8*	*3*	*12*		*100*
Lempdes	3106 *a*	1,5-1,6	0	24,0	10,51	23,0	0,6	59,2	20,7	80,5	0,6	10,2	0,8	11,6	6,94	92,1

Cournon	2338 *a*	0,0-0,2	215	23,3	2,06	11,3	3,9	22,3	5,6	31,8	1,3	14,0	4,5	19,8	1,61	51,6
							8	*43*	*11*	*62*	*2*	*27*	*9*	*38*		*100*
	b	0,3-0,4	254	12,4	1,01	12,3	1,7	34,6	9,4	45,7	1,4	17,0	3,3	21,7	2,10	67,4
							3	*51*	*14*	*68*	*2*	*25*	*5*	*32*		*100*
Cournon	2335 *a*	0,0-0,02	340	48,7	4,57	10,6	4,2	10,2	3,4	17,8	0,8	8,4	0,7	9,9	1,80	27,7
							15	*37*	*12*	*64*	*3*	*30*	*3*	*36*		*100*
	b	0,2-0,35	394	14,1	1,46	9,7	3,2	15,9	10,5	29,6	1,3	6,2	4,2	11,7	2,53	41,3
							8	*38*	*25*	*71*	*3*	*15*	*11*	*29*		*100*
Lempdes	3143 *a*	0,1-0,15	346	20,9	2,22	9,4	1,4	12,0	5,3	18,7	0,5	9,7	4,1	14,3	1,31	33,0
							4	*37*	*16*	*57*	*2*	*29*	*12*	*43*		*100*
	b	0,4-0,5	347	14,4	1,40	10,3	1,8	14,6	7,0	23,4	0,7	12,2	5,4	18,3	1,28	41,7
							4	*35*	*17*	*56*	*2*	*29*	*13*	*44*		*100*
Lempdes	2247 *a*	0,0-0,2	134	33,4	3,06	10,9	2,7	14,7	8,4	25,8	0,9	9,3	3,5	13,7	1,88	39,5
							7	*37*	*21*	*65*	*2*	*24*	*9*	*35*		*100*
	b	0,2-0,45	153	15,7	1,39	11,2	1,7	15,1	8,8	25,6	1,9	7,1	4,5	13,5	1,90	39,1
							4	*39*	*22*	*65*	*5*	*18*	*12*	*35*		*100*
Sols sur alluvions anciennes																
Lignat	2504	0,0-0,1	0	16,4	1,32	12,4	5,5	25,9	8,3	39,7	3,8	16,3	9,0	29,1	1,36	68,8
							8	*38*	*12*	*58*	*5*	*24*	*13*	*42*		*100*
Lignat	2505	0,0-0,15	0	16,8	1,42	11,8	7,1	20,5	8,8	36,4	4,2	19,7	9,6	33,5	1,06	69,9
							10	*29*	*13*	*52*	*6*	*28*	*14*	*48*		*100*
St-Clément-de Régnat	3142 *a*	0,0-0,1	0	16,9	1,77	9,6	5,7	13,2	3,7	22,6	4,1	17,6	10,5	32,2	0,70	54,8
							10	*24*	*7*	*41*	*8*	*32*	*19*	*59*		*100*
	b	0,2-0,25	0	7,7	0,92	8,4	2,0	13,3	4,2	19,5	4,8	13,0	9,5	27,3	0,71	46,8
							5	*28*	*9*	*42*	*10*	*28*	*20*	*58*		*100*
	c	0,35-0,45	0	5,2	0,68	7,7	1,7	12,2	11,0	24,9	5,8	11,9	11,6	29,3	0,85	54,2
							3	*23*	*20*	*46*	*11*	*22*	*21*	*54*		*100*
	d	0,5-0,55	0	2,1	0,29	7,1	1,0	15,7	8,8	25,5	3,6	15,9	11,8	31,3	0,82	56,8
							2	*28*	*15*	*45*	*6*	*28*	*21*	*55*		*100*

permanentes du grand « marais » de Saint-André-le-Coq qui possède les sols de plaine les plus typiques. Pour permettre la comparaison avec les sols de culture, l'échantillon supérieur a été prélevé sous le feutrage de radicelles, soit entre 0,1 et 0,2 m. Tous ces profils sont issus de petites cuvettes mal drainées qui ont reçu quelques apports colluviaux comme l'atteste leur épaisseur.

Malgré le caractère d'hydromorphie qui résulte de cette situation topographique, les valeurs du C/N sont moyennes, peu supérieures à 10, sauf dans les niveaux inférieurs des profils 3125 et 19 nettement gleyfiés. Elles confirment les indications antérieures de D. COLLIER (1949).

Le taux d'humification atteint 50 à 70 p. 100 dès la surface et augmente régulièrement avec la profondeur. Parallèlement, les acides humiques prennent une place relative de plus en plus nette. Par rapport aux marno-calcaires et aux limons, cette double variation découle essentiellement de l'augmentation des humates calciques (H2.)

Dans la seconde partie du tableau 6 figurent exclusivement des *sols de cultures annuelles*, tous carbonatés, dont l'échantillon de surface correspond à la couche labourée. La plupart proviennent également du marais de Saint-André-le-Coq-Surat.

Par comparaison aux niveaux superficiels des profils prélevés sous prairie, il n'apparaît pas d'autre différence appréciable qu'une tendance à présenter des rapports $\Sigma H/\Sigma F$ légèrement plus élevés. Le taux d'humification demeure voisin de 50-60 p. 100 en surface et augmente aussi avec la profondeur sous l'effet majeur des humates calciques.

Nous avons étudié ensuite (tableau 7) 3 profils provenant des *zones de piénont*. Le premier (3141) est situé au pied occidental du puy d'Anzelle qui s'épaule sur les coteaux de Gandaillat. Les deux autres (2997 et 2998) appartiennent au marais de Lempdes et sont caractérisés par la présence en profondeur d'horizons humifiés, couleur d'encre et tachant les doigts, à structure particulièrement grasse. L'échantillon isolé (3106 *g*) représente l'horizon possédant au plus haut degré ces caractères extérieurs.

Le trait le plus frappant de ces trois profils concerne les niveaux inférieurs dont les taux de carbone et d'azote se relèvent. Dans les conditions de mauvais drainage du marais de Lempdes, le C/N s'élève aussi très fortement.

L'humification est comparable, dans l'ensemble, aux valeurs déjà signalées ; dans les échantillons de base, elle n'est généralement pas plus forte quoiqu'elle atteigne 92 p. 100 dans l'échantillon 3106 g.

D'autre part, à Lempdes, les horizons profonds sont totalement décarbonatés et présentent de hautes proportions d'acides humiques liés aux argiles par les sesquioxydes de fer et d'alumine (H3), confirmant ainsi les constations précédentes. Conjointement, nous observons l'abaissement appréciable des acides fulviques, principalement de la fraction (F2). D'où il résulte l'accroissement jusqu'à 7 du rapport $\Sigma H/\Sigma F$.

Le tableau 7 groupe aussi les résultats de 4 profils de *sols de pente*, tous calcaires. La principale différence constatée porte sur la moins forte humification des matières organiques, sauf dans le profil 2338 prélevé en bas de pente dans une zone d'accumulation colluviale déjà appréciable.

Les humates calciques et les acides fulviques qui les accompagnent gardent toujours la prépondérance relative parmi les fractions solubles.

Enfin, le tableau 7 comprend également des analyses de sols sur *terrasses alluviales anciennes*, donc sur substratum perméable. Les échantillons de Lignat sont des sols dont le complexe est à peu près saturé alors qu'au contraire le profil de Saint-Clément est acide en surface et présente un net lessivage de l'argile et du fer.

L'humification est à un niveau normal en 2504 et 2505 et tombe à 55 p. 100 dans le profil 3142. Mais, surtout, ces sols sont les seuls de Limagne que nous ayons analysés où le rapport $\Sigma H/\Sigma F$ s'abaisse au-dessous de l'unité, par suite de l'augmentation de tous les acides fulviques.

b) *Interprétation*

Malgré quelques variations provoquées par des conditions locales, l'ensemble des résultats est relativement homogène. Les analyses mettent en évidence la bonne humification des matières organiques dont les fractions solubles liées aux argiles par le calcium sont nettement dominantes.

Ces caractères fondamentaux apparentent les *sols de la plaine* limagnaise aux chernozems et justifient le rapprochement formulé dès 1931 par Lucien GACHON d'après la morphologie des profils. En effet, selon les auteurs russes, PONOMARYEVA (1956), RUDENSKAYA (1959), BOBRITSKAYA (1961), les chernozems typiques possèdent un rapport $\Sigma H/\Sigma F$ de l'ordre de 2 à 3 en surface, un taux d'humification compris entre 50 et 80 p. 100, enfin des humates calciques formant la fraction soluble toujours la mieux représentée. Ces indications sont confirmées par quelques analyses empruntées à Ph. DUCHAUFOUR (1957) (tableau 8).

Il existe pourtant des différences entre les chernozems et les sols de Limagne. RUDENSKAYA (1959) souligne en particulier que le rapport $\Sigma H/\Sigma F$ décroît régulièrement vers la base des profils, ce qui ne correspond pas à nos résultats. Et surtout, comme le remarquent P. DELAUNAY (1936) puis D. COLLIER (1949), le niveau des matières organiques des « Terres Noires » de Limagne est beaucoup moins élevé, 3 à 5 p. 100 contre 6 à 12 p. 100 pour les chernozems.

La valeur moyenne, généralement 10 à 12, du rapport C/N est l'indice d'une activité biologique normale, mais peut-être aussi d'une litière organique relativement pauvre en azote. La teneur en matières organiques au niveau de laquelle s'équilibrent les apports de résidus végétaux et leur minéralisation résulte surtout des conditions pédo-climatiques. Or, en Limagne, le climat est certes, de type subcontinental, mais avec des précipitations annuelles minimales de l'ordre de 600 mm, c'est-à-dire supérieures à la pluviométrie des steppes continentales à chernozems. Sur ce point, nous montrerons ultérieurement que la végétation naturelle de Limagne a été jadis essentiellement forestière plutôt que steppique. Les différences thermiques sont également appréciables, principalement en ce qui concerne, dans le sol, la durée et la profondeur du gel. De telles influences climatiques marquent aussi les chernozems russes qui, selon KUBIENA (1953 *a*), sont progressivement remplacés dans les régions méridionales par des kastanozems (sols châtains) ne possédant plus que 4 à 6 p. 100 de latières organiques totales.

En fait, les convergences résultent de caractères locaux : la présence en Limagne de marno-calcaires relativement tendres pour la plupart et d'un manteau de limons argilo-calcaires, véritables roches-mères, étalé sur une topographie aux formes plates. Parce que ces roches-mères leur ont légué un fort complexe absorbant bien saturé

par le calcium, les sols de Limagne sont soumis, comme les chernozems, à des alternances d'aérobiose en saisons sèches et d'anaérobiose en périodes humides. Ces phases temporairement anaérobies relèvent d'un caractère général d'endohydromorphie (J. R. DESAUNETTES, 1958), c'est-à-dire qu'elles sont dues à des causes internes, en l'occurence à la richesse en colloïdes plutôt qu'à la structure. Or, c'est précisément à ces alternances de sursaturation et de dessiccation, associées à la présence d'ions calcium abondants que de nombreux auteurs, S. SINGH (1956), S. P. IARKOV (1956), A. ANSTETT (1956), Ph. DUCHAUFOUR (1960 *b*), R. MAIGNIEN (1961) attribuent la forte humification des matières organiques et le développement d'humus très foncés.

Pour ces mêmes raisons, les sols des parties basses de la plaine, atteints, en outre, par une hydromorphie liée à la topographie (exohydromorphie) sont ceux qui présentent le plus haut degré d'humification parce que les phases de sursaturation y sont prolongées. Dans les situations extrêmes, semi-terrestres, se sont développées des formations humiques de marais désignées par KUBIENA sous le nom d'anmoor (1) qui, après abaissement du plan d'eau, évoluent en smonitza. Nos résultats sont, là aussi, analogues à ceux de DUCHAUFOUR. Nous rejoignons donc l'opinion exprimée par M. DERRUAU (1949) mais nous la limitons aux sols des parties basses affectées d'exohydromorphie, qui sont bien les plus noirs de la plaine. Comme pour les argiles noires tropicales (A, LAPLANTE, 1954) — (N. LENEUF, 1954) — (R. MAIGNIEN, 1961), les tirs d'Afrique du Nord (H. del VILLAR, 1944) — (J. BOULAINE, 1959), ou les régurs de l'Inde (R. V. TAMHANE, 1950), le développement de la teinte noire est donc liée à des conditions d'hydromorphie interne ou externe, en présence d'un fort complexe absorbant saturé par le calcium.

Les différences à peu près nulles provoquées par le travail du sol sur les matières humiques des sols de Limagne ne sont pas surprenantes. Dans les chernozems de Sibérie, M. A. BOBRITSKAYA (1961) a enregistré un abaissement de 15 p. 100 seulement du taux d'humification des sols labourés de longue date par rapport aux sols des zones vierges (40-50 contre 60-65). Obtenus dans de telles conditions ces chiffres doivent donc être considérés comme traduisant un effet maximum.

Or, la Limagne est une région de très ancienne occupation du sol par des agriculteurs. Dès le Haut Moyen-Age et vraisemblablement dès l'époque gallo-romaine, les marais limagnais ont été assainis et mis en culture. En conséquence, la distinction que nous avons faite entre sols labourés et sols de prairie est illusoire parce qu'elle correspond à un état récent qui n'a pas encore laissé d'empreintes suffisantes sur les matières organiques.

Quant aux *sols de piémont*, la présence d'horizons profonds plus riches en matières organiques est le caractère essentiel qui révèle indiscutablement des sols enterrés et qui confirme donc les interprétations établies à propos du gradient des carbonates au sein de ces profils.

Les *sols de pente* se placent à l'autre extrémité d'une toposéquence et sont caractérisés par une surcharge de carbonates et par la réduction de la durée des phases de sursaturation. D'où résultent logiquement la diminution de l'humification et

(1) L'anmoor est une formation humique à structure grasse et plastique qui s'élabore en milieu fortement minéralisé et presque constamment sursaturé. Elle consiste en un mélange intime de substances minérales à des excrétats finements divisés et *bien humifiés* d'organismes aquatiques. Les racines de végétaux aquatiques sont elles-mêmes rapidement décomposées. L'anmoor s'oppose ainsi à la tourbe qui a une structure fibreuse et qui est faiblement humifiée.

TABLEAU 8

Fractionnement des matières organiques de sols d'autres régions

Origine	Profondeur en mètres	P. 1 000 de terre fine sèche				P. 100 de carbone									
						Acides humiques				Acides fulviques				$\frac{\Sigma H}{\Sigma F}$	$\frac{\Sigma H}{\Sigma H + \Sigma F}$
		CO_3Ca	C	N	C/N	H1	H2	H3	ΣH	F1	F2	F3	ΣF		
Chernozem (Ukraine) (1)		0	28,9	2,5	11,5	8 *12*	34 *52*	6 *9*	48 *73*	6 *9*	12 *18*		18 *27*	2,67	66 *100*
Tir (Maroc) (1).....	0,0-0,4	127	20,9	2,1	9,9	6 *8*	28 *38*	14 *19*	48 *66*	8 *11*	17 *24*		25 *34*	1,92	73 *100*
Gley à Anmoor (Alsace) (1) ...	vers 0,3	40	17,4	2,8	6,2	7 *8*	37 *42*	19 *22*	63 *72*	9 *10*	16 *18*		25 *28*	2,52	88 *100*
Rendzine forest. (Lorraine) (1)	0,0-0,2	336	80,9	7,0	11,5	4 *10*	10 *28*	3 *9*	17 *47*	10 *28*	9 *25*		19 *53*	0,90	36 *100*
	0,2-0,4	452	37,5	3,9	9,6	5 *10*	13 *27*	8 *16*	26 *53*	17 *35*	6 *12*		23 *47*	1,13	49 *100*
Rendzine grise de pelouse (Loiret) (1)	0,0-0,15	318	29,5	3,5	8,4	8 *15*	6 *11*	10 *19*	24 *45*	8 *15*	21 *40*		29 *55*	0,82	53 *100*
Sol brun lessivé (Livradois) ...	0,0-0,15	0	22,7	2,08	10,9	17,2 *36*	1,7 *4*	2,9 *6*	21,8 *46*	6,8 *15*	14,3 *30*	4,4 *9*	25,5 *54*	0,85	47,3 *100*
	0,15-0,55	0	7,6	1,09	7,0	17,9 *27*	3,4 *5*	7,6 *12*	28,9 *44*	17,8 *27*	15,4 *23*	3,7 *6*	36,9 *56*	0,78	65,8 *100*

(1) *in* Ph. DUCHAUFOUR (1957).

l'augmentation de la minéralisation. Nous retrouvons ainsi les caractères d'un mull actif, c'est-à-dire de l'humus typique des rendzines dont nous avons reproduit au tableau 8 deux analyses empruntées à Ph. DUCHAUFOUR (1957). Cependant, la ressemblance avec les rendzines n'est pas parfaite puisque les sols de pente conservent des rapports $\Sigma H/\Sigma F$ nettement supérieurs à l'unité. On peut penser que ce caractère distinctif est encore lié à la richesse particulière en colloïdes minéraux des sols limagnais.

En raison de leur faible degré d'évolution, on est aussi tenté de comparer ces sols de pente à leurs roches-mères. On constate alors qu'ils fournissent des valeurs intermédiaires entre celles des limons et des marno-calcaires de Limagne et celles des rendzines étudiées par Ph. DUCHAUFOUR. Cette constatation est nette pour les caractères les mieux différenciés, tels que ΣF, $\Sigma H + \Sigma F$ et $\Sigma H/\Sigma F$. Malheureusement, elle ne s'applique pas aux rapports C/N, ce qui paraît contradictoire et nous fait préférer l'hypothèse précédente.

Ces remarques soulèvent le problème, totalement méconnu encore, des transformations subies dans le sol par les matières organiques fossiles des marno-calcaires stampiens. Des recherches consacrées à ce sujet seraient d'autant plus intéressantes qu'elles permettraient assurément de mieux expliquer les remarquables propriétés de l'humus des sols de Limagne.

Enfin, les *sols sur alluvions anciennes* s'éloignent des autres sols de la Limagne argilo-calcaire dans la mesure où leur complexe devient plus acide, les sols de Lignat étant en position intermédiaire par rapport au profil de saint-Clément-de-Régnat (3142). Pourtant, les acides humiques et les acides fulviques libres, agents actifs de la podzolisation, sont encore en proportions relativement faibles, par comparaison au sol brun lessivé du Livradois que nous avons analysé et dans lequel les humates calciques ont presque disparu (tableau 8).

Nous consacrerons plus loin un chapitre particulier à ces sols sur alluvions anciennes et mettrons alors en évidence qu'ils ne sont pas totalement indépendants des sols de plaine. La réalité des apports en provenance des parties basses explique alors les caractères relativement peu différenciés de leurs matières organiques.

5°) CONCLUSIONS

Les marno-calcaires et les limons possèdent des teneurs relativement importantes en matières organiques caractérisées par les rapports C/N et $\Sigma H/\Sigma F$ élevés et par un taux d'humification généralement compris entre 10 et 30.

Ces propriétés communes confirment une nouvelle fois leurs liens génétiques.

Les caractères des matières organiques rapprochent les sols de Limagne des chernozems. Cette analogie est liée en priorité à la nature argileuse et calcaire de la roche-mère puisqu'elle disparaît dès que l'on sort du territoire marno-calcaire de la Limagne. Mais, elle est assurément en relation avec le régime climatique subcontinental de la plaine qui favorise l'alternance dans le profil pédologique de phases d'aérobiose et d'anaérobiose. Enfin, elle dépend aussi de la topographie puisqu'elle s'affaiblit graduellement sur les pentes.

L'étude des matières organiques permet donc de confirmer également la toposéquence de sols calcimorphes établie à partir des variations de l'état calcique. Ainsi,

des pentes érodées jusqu'aux situations hydromorphes de la plaine, on assiste à l'augmentation de l'humification qui passe de 30-40 à 60-90 et à l'accroissement du rapport $\Sigma H/\Sigma F$ qui atteint jusqu'à 7 dans les horizons de gley à anmoor. Dans les zones intermédiaires de piémont, le taux des matières organiques atteste la présence de sols enterrés.

Enfin, les sols partiellement désaturés situés sur les terrasses d'alluvions anciennes se remarquent surtout par la présence d'acides fulviques aussi abondants que les acides humiques.

E. — Conclusions : Caractères comparés des formations superficielles

Ainsi, à l'exception des affleurements volcaniques, necks et coulées, non étudiés, nous distinguons dans le territoire sédimentaire marno-calcaire de la Grande Limagne les formations superficielles suivantes présentées dans leur ordre stratigraphique normal :

1°) Les marno-calcaires stampiens

Il s'agit de roches sédimentaires carbonatées et argileuses, caractérisées par leur *état consolidé*, mais sous les faciès les plus divers : marno-calcaires durs, compacts se débitant en blocs massifs, en dalles ou en plaquettes ; marno-calcaires tendres se fragmentant en petits cailloux, en poudre, parfois même délitescents.

Les constituants essentiels : les colloïdes minéraux, les carbonates, les matières organiques et les restes siliceux présentent des proportions relatives très fluctuantes, surtout les deux premiers. L'analyse des matières organiques révèle des rapports C/N et $\Sigma H/\Sigma F$ particulièrement élevés, 12 à 30 pour les premiers, 2 à 8 pour les derniers ainsi qu'une solubilité appréciable dans la soude diluée : 15 à 30 p. 100.

2°) Les limons

Les limons possèdent les mêmes caractères chimiques que les marno-calcaires dont ils diffèrent seulement par leur *état ameubli*. Cet ameublissement est la conséquence de l'altération superficielle comme le prouve l'observation des parois d'anciennes carrières abandonnées où des bancs durs à peu près intacts alternent avec des strates plus ou moins pulvérulentes ; ce dernier état est bien dû à des actions externes puisqu'il disparaît à quelques centimètres en arrière du front de coupe. Les transports accentuent encore cet état de division, et facilitent ainsi la dispersion des colloïdes. Par conséquent, *les limons représentent les produits de désagrégation et de remaniement des marno-calcaires* dont la plupart ont été transportés le long des versants par les eaux du ruissellement diffus chargées à la limite de leur puissance.

Ils comprennent deux phases granulométriques distinctes se raccordant l'une à l'autre vers les dimensions de 50-200 μ. La plus grossière est distribuée suivant un « faciès parabolique » en coordonnées semi-logarithmiques et représente une charge d'éléments grossiers provenant de la fragmentation des marno-calcaires durs. La plus fine a une distribution subrectiligne devenant hyperbolique sous l'effet des altérations qui favorisent la dispersion des colloïdes originels déposés au cours de la sédimentation tertiaire ; elle est fournie par les marno-calcaires les moins cohérents.

La répartition pondérale de ces deux phases est variable suivant la nature des bancs d'affleurement au voisinage amont du point considéré. Dans la plaine, il arrive que la fraction grossière soit absente.

Enfin, les limons possèdent une *structure faible,* continue à l'état humide mais devenant prismatique au cours de la dessiccation. La présence d'une charge sableuse d'origine alluviale est un facteur favorable à la consolidation de la structure. De tels corps étrangers, en particulier les galets résiduels de terrasses, apportent un dernier caractère de distinction entre limons et marno-calcaires.

3°) Les alluvions

Le long des talwegs limagnais, actuels ou fossiles, les limons sont recouverts par des alluvions sableuses caractérisées par le *tri de leurs éléments* qui se traduit par une courbe cumulative sigmoïdale en coordonnées semi-logarithmiques et par un polygone de fréquence très aigu. *Ce caractère se suffit à lui-même.*

Il peut arriver que les alluvions comprennent aussi deux phases granulométriques normalement triées et distinctes par la dimension de leurs éléments ; cela se produit surtout dans les nappes alluviales anciennes.

Enfin, les alluvions sont très pauvres en matières organiques et ne sont *généralement pas calcaires,* mais elles peuvent contenir des lits interstratifiés de limons argilo-calcaires.

4°) Les vases

Par leur position stratigraphique, les vases correspondent aux alluvions puisque dans les dépôts sous-lacustres de Sarlième, on passe latéralement des unes aux autres.

Elles possèdent des caractères intermédiaires entre ceux des limons et ceux des sols dont elles présentent la granulométrie fine. Elles diffèrent des sols par *leur structure instable* et des limons par *la plus grande proportion relative des humates calciques* qui constituent, à eux seuls, plus de la moitié des matières organiques solubles.

Enfin, elles contiennent le plus souvent des frustules de Diatomées qui témoignent de leur formation sous des eaux calmes.

5°) Les sols

Avec les sols apparaît un caractère nouveau, spécifique, *la stabilité structurale* généralement très forte, due aux liaisons puissantes qui existent entre les colloïdes organiques et les colloïdes minéraux par l'intermédiaire du calcium. Comme dans les vases, les humates calciques représentent, en effet, la moitié et plus des matières organiques solubles.

Les sols calcimorphes limagnais possèdent, en moyenne, des teneurs *plus faibles en carbonates et des taux d'humification plus élevés* que toutes les autres formations argileuses.

Suivant la position topographique, ces caractères subissent des fluctuations qui nous ont permis de définir une *toposéquence* depuis les sols rendziniformes rajeunis par l'érosion sur les pentes jusqu'aux sols bruns décarbonatés de la plaine

qui passent à des sols hydromorphes (gley à anmoor) dans les situations mal drainées.

Le rapport C/N prend des valeurs normales de l'ordre de 10 à 13 sauf dans les horizons de gley, particulièrement dans les gleys à anmoor où il peut atteindre jusqu'à 20 et 25.

Enfin, dans le périmètre de notre étude, la distribution granulométrique des sols est généralement semblable à celle des limons mais avec des parties fines mieux dispersées. Lorsqu'elle existe, la phase grossière est de nature calcaire dans les sols de pente et de nature nettement siliceuse dans les sols formés sur alluvions.

CHAPITRE VI

LES RELATIONS DE LA MORPHOLOGIE ET DE LA PÉDOLOGIE ; DESCRIPTION ET INTERPRÉTATION DE PROFILS CARACTÉRISTIQUES

L'étude des caractères généraux nous a permis de définir et par conséquent de distinguer les principales formations superficielles de Limagne. Elle nous a apporté aussi des éléments d'interprétation sur les rapports réciproques du sol et du substratum. Nous avons déjà attiré l'attention du lecteur à plusieurs reprises sur la variété des dispositions de profil que nous allons maintenant illustrer par des exemples.

Nous commencerons par décrire les remaniements qui ont affecté le substratum marno-calcaire avant d'aborder l'étude des sols proprement dits, suivant en cela l'ordre chronologique des phénomènes.

Quant aux sols, nous ferons de la nature du substratum le principal élément de distinction parce que, dans le périmètre de notre étude, les limons et même certaines assises marno-calcaires sont très peu perméables et s'opposent ainsi aux alluvions, nettement filtrantes au contraire. Nous avons ensuite classé les sols calcimorphes en fonction de leur environnement topographique suivant l'ordre de leur enchaînement au sein de la toposéquence précédemment définie.

Mais, sur les terrasses alluviales déchaussées de tous côtés par l'érosion, la présence de quelques sols nettement argileux, de constitution très différente de leur substratum, soulève le problème de leur genèse particulière.

Nous traiterons enfin la question des sables volcaniques qui sont curieusement localisés hors du périmètre des alluvions récentes déposées par les ruisseaux originaires de la Chaîne des Puys.

A. — Le substratum

En suivant les nombreux fossés d'assainissement qui ont ouvert des kilomètres de coupes à travers les « marais » et même sur les amples interfluves, nous avons observé à plusieurs reprises divers types de « dérangements » subis par les strates supérieures des sédiments limagnais : marno-calcaires et alluvions anciennes. Nous avons retenu quelques exemples de ces phénomènes.

a) *Description*

α) *Marais de Saint-André-le-Coq.*

Lorsque la couverture meuble est peu épaisse — ce qui est la règle dans le grand marais de Saint-André-le-Coq — et que le substratum est constitué de marnes se débitant en plaquettes, on note l'apparition fréquente de déformations des couches qui

prennent une disposition en festons, en guirlandes. Ces perturbations morphologiques dans l'ordonnancement des strates sont tout à fait identiques à celles qui sont attribuées aux actions de cryergie, dont on trouvera la description détaillée et la discussion des processus invoqués dans l'ouvrage de A. CAILLEUX et G. TAYLOR (1954) (fig. 10, schéma nº 1).

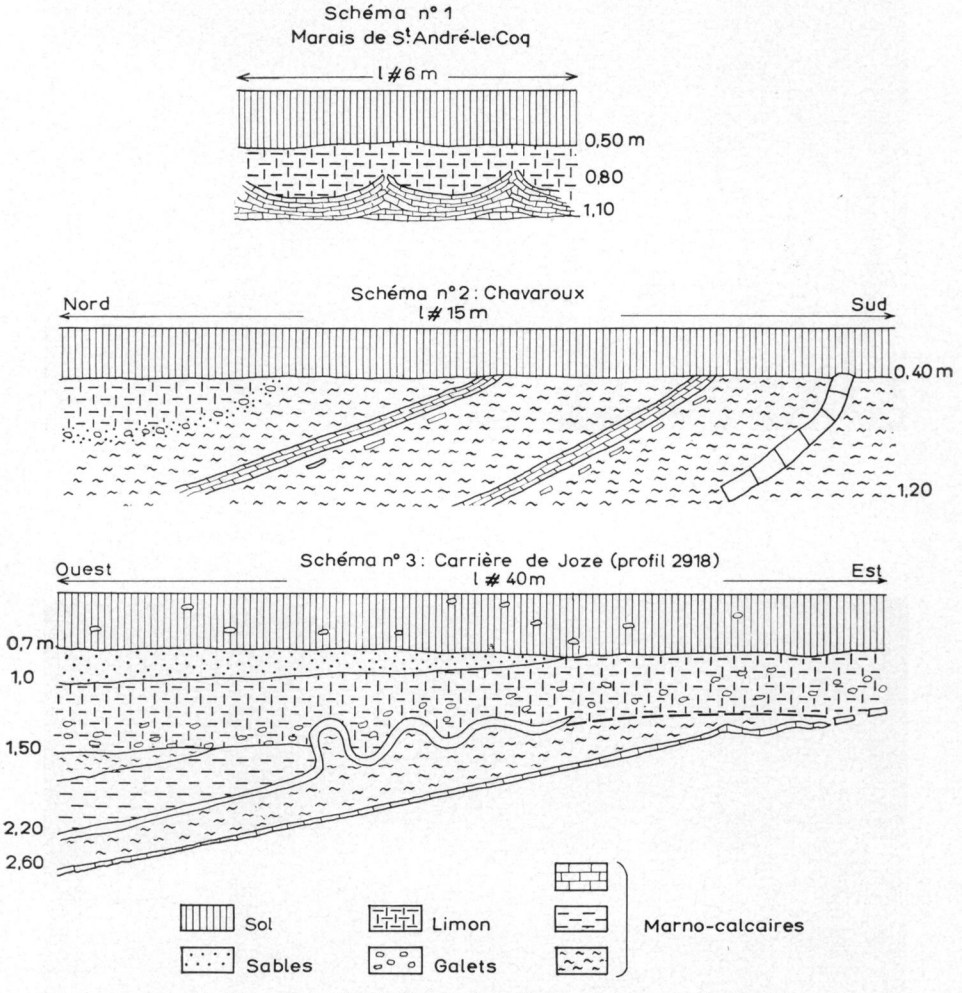


FIG. 10. — *Cryoturbations du substratum marno-calcaire*

β) *Ensellement entre buttes* (Chavaroux : X = 671,0 ; Y = 95,7 ; Alt. : 342 m) (1).

Au nord-ouest du bourg de Chavaroux, nous avons trouvé un profil marqué par un très net niveau d'érosion, qui, à la base du sol, recoupe en biseau soit des strates stampiennes aux faciès variés, soit des lits de galets partiellement enrobés

(1) La localisation exacte des profils décrits ou analysés est indiquée au moyen des coordonnées Lambert, X représentant l'abscisse longitudinale, Y l'ordonnée latitudinale.

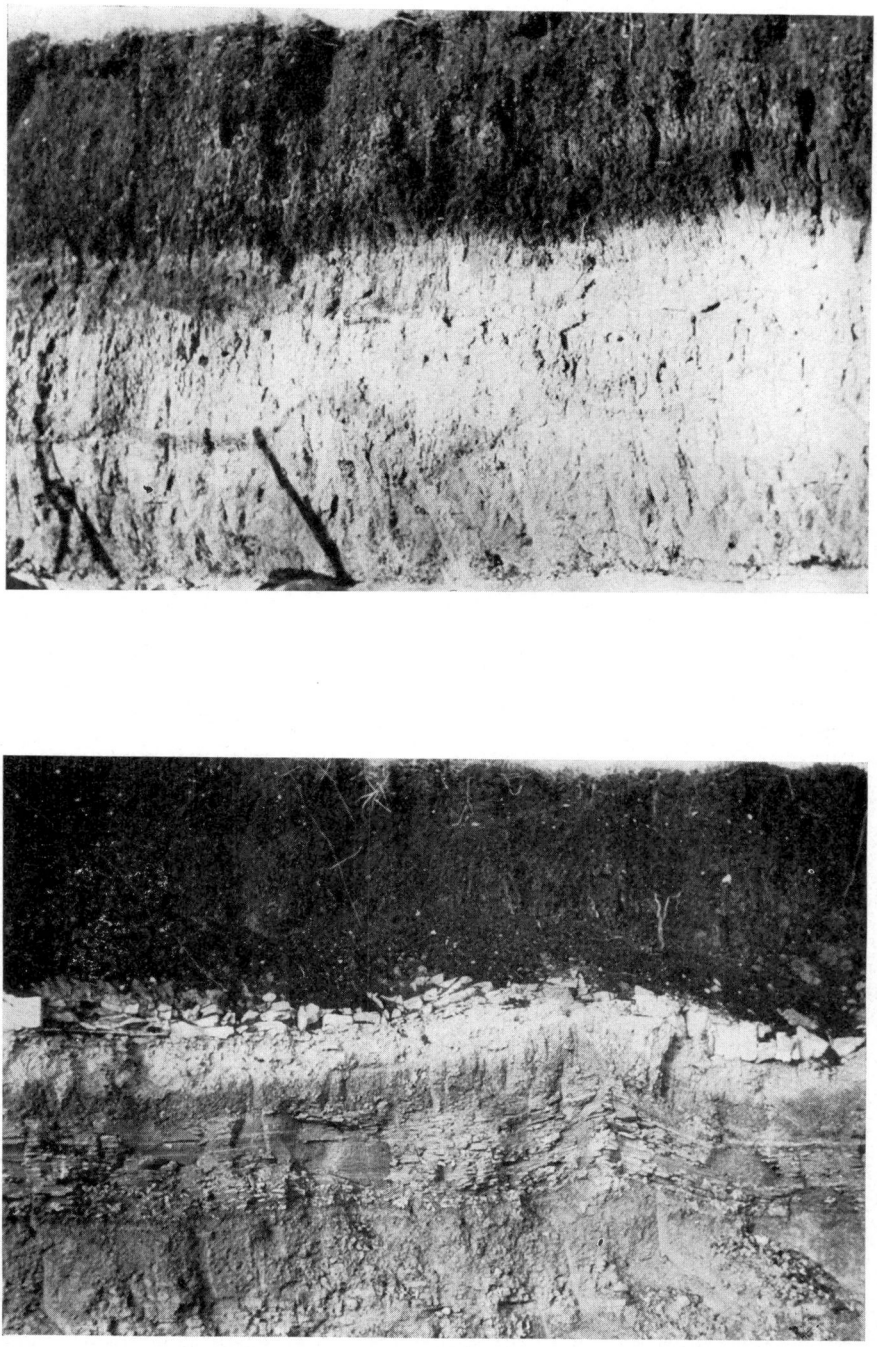


FIG. 11. — *Cryoturbations des marno-calcaires. Carrière de Joze*

dans des limons. Le sol apparaît donc là comme une formation discordante. Sur le front de coupe, les sédiments stampiens sont inclinés de 16 à 17 p. 100 vers le nord. Le seul banc de calcaires compacts observé sur les parois de ce fossé a subi un fort redressement puisque son « nez » affleure à la base du sol suivant un angle voisin de 50 degrés (fig. 10, schéma n° 2). Là encore, cette déformation est caractéristique de la cryergie.

γ) *Carrière des fours à chaux de Joze* (X = 673,7 ; Y = 97,8 ; Alt. = 325 m).

Le front nord de cette carrière en exploitation offre de beaux exemples de cryoturbation sous la forme de plicatures et d'involutions dans les formations marneuses, soulignées par des dépôts de calcaire consécutifs à une perturbation du drainage à leur contact (fig. 10, schéma n° 3). Les bancs de calcaires durs sont moins touchés et présentent seulement de modestes festons et des ondulations de faible amplitude mais dont les répercussions se remarquent cependant jusqu'à 60-70 cm de profondeur dans les strates sous-jacentes (photo fig. 11). Par contre, dans les marnes feuilletées ou facilement délitescentes, nous n'avons pas discerné de remaniements.

TABLEAU 9

Analyses du profil 2918 *de Joze*

Référence	Nature des horizons	Profondeur en mètres	pH	P. 1 000 de terre fine sèche				
				C. R.	CO_3Ca	C	N	C/N
a	sol	0,2-0,3	8,0	463	43	14,6	1,12	13,2
b		0,5-0,6	8,1	508	54	9,0	0,85	10,6
c	sables	0,7-0,8		389	264	4,9	0,53	9,2
d		0,8-1,0		329	200	3,7	0,47	7,8
e	limon	1,2-1,4		432	640	3,1	0,32	9,8

Fractionnement des matières organiques (p. 100 de carbone).

	Acides humiques				Acides fulviques				$\frac{\Sigma F}{\Sigma H}$	$\Sigma H + \Sigma F$
	H1	H2	H3	ΣH	F1	F2	F3	ΣF		
a	2,6	31,0	11,5	45,1	3,5	12,6	4,7	20,8	2,17	65,9
b	0,7	41,7	13,5	55,9	2,1	5,9	3,6	11,6	4,82	67,5
c	0,8	31,9	30,6	63,3	1,6	11,4	7,2	20,2	3,14	83,5
d	1,7	25,7	26,1	53,5	1,8	23,2	7,6	32,6	1,64	86,1

Il paraît important de signaler que les phénomènes de cryoturbation se manifestent au contact des assises en place et du limon susjacent qui contient des galets quartzeux principalement à sa partie inférieure. Mais ce contact n'est pas toujours

décelable, en particulier lorsque des marnes peu cohérentes viennent en affleurement avec le limon ; car, sous l'effet du remaniement par le gel, ces marnes prennent une structure prismée analogue à celle du limon dont elles ne se différencient plus.

Le profil 2918 de la carrière de Joze présente enfin la particularité de posséder entre le limon et le sol des lits sableux intercalés au niveau desquels s'accumulent les carbonates et les humates entraînés par les eaux de drainage, ainsi que le prouvent les analyses jointes (tabl. 9). Il est, en effet, remarquable de constater que, dans les sables, le résidu organique insoluble dans la soude, atteint seulement 13,9 et 16,5 p. 100.

δ) *Alluvions de l'Artières* (cône de Sarlième : X = 662,3 ; Y = 84,5 ; Alt. = 352 m).

Les remaniements par cryoturbation observés dans le cône alluvial de l'Artières ont été décrits antérieurement par A. Rudel et G. Lemée (1955). Ils sont particulièrement nets dans la partie médiane du cône où les alluvions se terminent par des lits sableux consolidés en grès. Grâce à sa dureté et à sa faculté de se cliver, cette roche s'est débitée en plaques qui soulignent fort bien les mouvements dûs à la cryergie par leur redressement sur champ aux sommets des guirlandes et des festons.

Les limons sous-jacents montrent également des involutions analogues à celles de Joze et révélées par la circulation des eaux d'infiltration.

ε) *Alluvions de Sarlième* (X = 663,7 ; Y = 83,1 ; Alt. = 349 m).

Dans les carrières qui exploitent les sables de la terrasse du château de Sarlième, nous avons observé également des fentes en coin dont certaines ont jusqu'à 1,20 m de profondeur.

Ainsi, nous avons trouvé en Limagne la plupart des formes engendrées par la cryergie, formes différentes suivant la nature des couches superficielles.

b) *Interprétation*

Dans les coupes de Chavaroux et de Joze, apparaît distinctement un niveau d'érosion qui recoupe en biseau les strates stampiennes. Nous pensons qu'il s'agit là d'un niveau correspondant à la dernière phase de creusement, phase rapportée à la période wurmienne, froide et humide, par M. Derruau (1949 *b*).

L'allure et la position stratigraphique des symptômes attestent que les manifestations de la cryergie sont postérieures à la phase précédente. Ces remaniements sur place impliquent une évolution climatique vers des conditions certainement plus sèches et sans doute plus froides, en concordance avec les données généralement admises sur les modifications du climat survenues en Europe occidentale au cours de la dernière période glaciaire, données qui ont fait l'objet d'une récente mise au point de Y. Guillien (1962).

Il faut noter qu'à Chavaroux, la surface d'érosion recoupe non seulement le Stampien en place mais aussi des couches de limons et des lits alluviaux de faible puissance. Ces lambeaux d'alluvions et de colluvions sont donc d'âge antéwurmien comme le confirme leur position haute par rapport aux terrasses de 15-20 m de l'Allier.

La coupe de la carrière de Joze (profil 2918) est la plus complète puisqu'elle possède deux formations différentes entre le Stampien et le sol.

La granulométrie (fig. 12) montre que le limon intercalaire comprend deux

fractions distinctes : l'une fine, l'autre grossière. La fraction fine représente un limon transporté en masse au sein duquel la fraction grossière — celle des galets quartzeux — constitue un résidu bien calibré, non évacué au cours de la phase d'érosion. Cette hypothèse est renforcée par le fait que les galets sont beaucoup plus abondants à la base du limon.

Les lits sableux superposés au limon ont subi un triage au cours de leur transport, principalement le niveau *d*. Leur présence est épisodique dans le profil puisque le recul du front de carrière les voit disparaître et réapparaître. Ces sables marquent les effets du ruissellement linéaire qui a entaillé les limons vers l'amont ; ils se sont

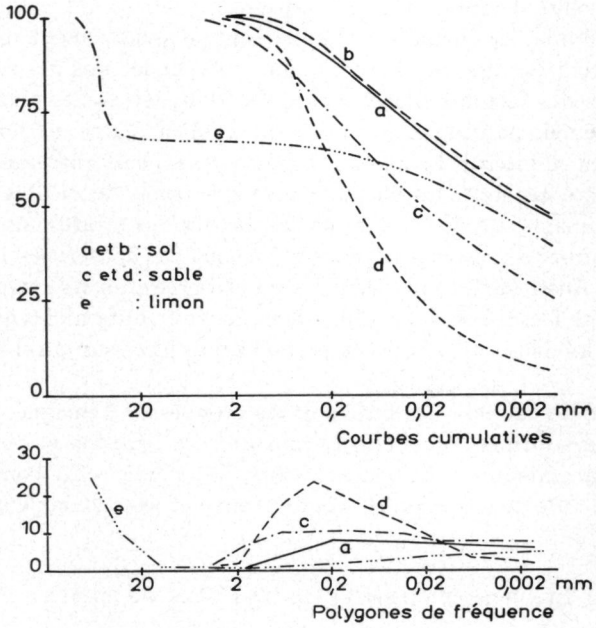


FIG. 12. — *Granulométrie du profil 2918 de Joze*

déposés dans les points bas à la faveur de ruptures de pente. D'autres observations effectuées vers la base des coteaux limagnais, par exemple lors du creusement des fondations du Lycée agricole de Marmillat, confirment l'existence dans la masse des limons de véritables rigoles d'érosion qui ont jusqu'à 0,60 m de profondeur.

Enfin, le manque de transition et le contraste de constitution indiquent l'absence de parenté entre le sol et les sables. Le sol argilo-calcaire est donc d'origine colluviale et apparaît là aussi comme une formation discordante.

B. — Les sols sur substratum marno-calcaire

Nous présentons les divers profils de sols calcimorphes suivant leur position topographique en raison de la toposéquence que nous avons précédemment définie. En chaque point étudié, nous nous sommes efforcé de préciser au mieux les caractères topographiques en indiquant la longueur du versant vers l'amont et vers l'aval,

c'est-à-dire jusqu'au point culminant d'une part et jusqu'à la rupture de pente ou jusqu'au niveau de base local d'autre part ; également, la dénivellation relative et, par déduction, la pente moyenne vers l'amont et vers l'aval ; enfin, la pente maximum du versant.

Pour obtenir ces précisions, nous avons eu recours à la carte au 1/10 000 en courbes de niveau dressée à l'usage du Groupement d'Urbanisme de Clermont-Ferrand. C'est la raison essentielle pour laquelle nous avons choisi nos exemples de sols de coteaux à proximité de Clermont. Pour la plaine, les profils décrits proviennent de prélèvements effectués le plus souvent dans les fossés d'assainissement. Nous avons alors utilisé les levés topographiques que les Services départementaux du Génie Rural ont bien voulu mettre à notre disposition.

Pour notre étude, les surfaces planes présentent évidemment un grand intérêt car elles permettent de dissocier les effets qui relèvent les uns des facteurs pédogéniques, les autres des facteurs morphogéniques. Dans le cas des plateaux, le caractère de se trouver en position haute par rapport à la plaine confère un avantage supplémentaire car il interdit la possibilité d'apports récents entraînés par gravité.

D'une manière générale, les plateaux sont des restes de vieilles surfaces d'érosion. Mais, en Limagne argilo-calcaire où la plupart des strates sont d'une grande friabilité, « les formes d'érosion anciennes ne se sont pas conservées » (M. Derruau, 1949 *b*, p. 28). Aussi facilement détruites qu'élaborées, on les retrouve seulement lorsqu'elles ont été fossilisées soit par des laves (au sud), soit par des nappes alluviales (au nord). Dans les deux cas, les sols ne reposent plus alors sur le substratum marno-calcaire.

En l'absence de cuirasse, les buttes et les croupes de Limagne, quelle que soit la douceur de leurs formes, subissent les morsures de l'érosion et portent donc des sols constamment rajeunis, analogues à ceux des pentes. En conséquence, nous n'avons pas jugé utile de dissocier les sols de croupe et les sols de pente.

1°) Les sols de croupe et les sols de pente

Quelle que soit leur situation topographique : de croupe ou de pente, les sols reposent soit sur des marno-calcaires fragmentés souvent en plaquettes, soit sur des limons plus ou moins graveleux.

Sur les croupes et le haut des pentes, on observe en surface de nombreux cailloux portant des traces d'éclatement par le gel qui apparaît ainsi comme un agent actif de fragmentation. Les parcelles cultivées, surtout les vignes, accusent une forte érosion attestée par un ressaut dépressif du terrain à leurs limites supérieures et par un tertre d'accumulation à leurs limites inférieures. Érosion confirmée, en outre, par le déchaussement des ceps à l'amont et par leur enterrement à l'aval des parcelles.

Ces sols jeunes, parfois squelettiques, possèdent des caractères peu différents de leurs roches-mères, marno-calcaires stampiens ou limons. Lorsque les limons sont issus de marno-calcaires délitescents, la distinction entre sol et limon devient même tout à fait arbitraire. Par exemple, sur le versant nord des coteaux de Gandaillat qui dominent le côté sud de la base militaire d'Aulnat. Nous avons déjà signalé que les sols des croupes et des pentes contiennent une teneur élevée en carbonates,

de 100 à 500 p. 1 000 ; que leur taux d'éléments grossiers supérieurs à 2 mm varie notablement suivant le faciès du substratum à l'amont du point d'observation et peut approcher 500 p. 1 000.

Vers le bas des pentes, si la disposition du profil est peu modifiée, certains caractères s'accusent. En premier lieu, la granulométrie devient plus fine, avec la disparition de la plupart des cailloux. Parallèlement, la teneur moyenne en carbonates diminue bien que l'amplitude de variation reste grande (0 à 400 p. 1 000). Enfin, l'épaisseur du sol et du limon va en augmentant.

Ces constatations, dans leur ensemble, confirment les conclusions antérieures de D. COLLIER (1949).

Pour illustrer ces types de profil, nous avons retenu d'une part, deux sols situés en pleine pente, l'un sur substratum de marnes en plaquettes (Lempdes, 2247), l'autre sur limon (Cournon, 2335) ; d'autre part, deux sols de bas de pente, tous les deux sur limon (Lempdes, 3143, et Cournon, 2338). Ces quatre profils appartiennent à deux lignes de pente du massif de Cournon situées l'une sur le côté sud-ouest (Cournon), l'autre sur le versant nord (Lempdes).

a) *Morphologie des profils*

Cournon : 2335 (X = 665,8 ; Y = 83,1 ; Alt. = 417 m).

Localisation géographique : coteaux du massif de Cournon, face ouest.

Caractères topographiques :

— pente locale : 14 p. 100 vers l'ouest.
— sommet du versant : dénivellation : 85 m.
distance : 0,6 km.
pente moyenne : 14 p. 100.
pente maximum : 30 p. 100.
— pied du versant (rupture de pente) : dénivellation : 32 m.
distance : 0,4 km.
pente moyenne : 8 p. 100.

Végétation : friche herbeuse à *Brachypodium pinnatum* (L.) P. B. et à *Bromus erectus* HUDS. dominants.

Description du profil :

0,0-0,05 m : horizon humifère, argileux et carbonaté, riche en cailloux calcaires ; structure grumeleuse ; racines denses.
0,05-0,4 : sol argilo-calcaire gris, très caillouteux, structure nuciforme.
0,4-0,7 : limon beige clair ; structure pulvérulente à l'état sec ; atteint par les racines des plantes à rosette.

***

Lempdes : 2247 (X = 666,7 ; Y = 85,2 ; Alt. = 400 m).

Localisation géographique : replat sur le flanc nord des puys de Banne et d'Anzelle.

Caractères topographiques :

— pente locale : 6 p. 100 vers le nord.
— sommet du versant : dénivellation : 72 m.
distance : 0,9 km.
pente moyenne: 8 p. 100.
pente maximum : 13 p. 100.
— pied du versant (rupture de pente) : dénivellation : 45 m.
distance : 0,45 km.
pente moyenne : 10 p. 100.

Végétation : friche herbeuse à *Brachypodium pinnatum* (L.) P. B. et *Agropyrum repens* (L.) P. B.

Description du profil :

0,0-0,18 m : sol argilo-calcaire brun foncé et caillouteux ; structure grumeleuse ; dense implantation de racines.
0,18-0,35 : sol argilo-calcaire brun, caillouteux ; structure grumeleuse.
0,35-0,40 : marnes en plaquettes enrobées de CO_3Ca pulvérulent, incluant un feutrage dense de radicelles.
0,40 et plus : marnes fissurées en place.

***

Cournon : 2338 (X = 665,1 ; Y = 82,7 ; Alt. = 365 m).

Localisation géographique : zone inférieure des coteaux occidentaux du massif de Cournon au niveau de la rupture de pente.

Caractères topographiques :

— pente locale : 3,5 p. 100 vers l'ouest.
— sommet du versant : dénivellation : 135 m.
distance : 1,4 km.
pente moyenne : 9,5 p. 100.
pente maximum : 30 p. 100.
— marais de Sarliève : dénivellation : 20 m.
distance : 0,8 km.
pente moyenne : 2,5 p. 100.

Végétation : culture de luzerne.

Description du profil :

0,0-0,4 m : sol argilo -calcaire gris foncé ; structure nuciforme.
0,4-0,7 : sol argilo-calcaire gris beige ; structure polyédrique. abondamment exploité par la luzerne.
0,7-0,9 : transition argilo-calcaire ; structure faible.
0,9 et plus : limon gris clair ; structure prismatique faible.

***

Lempdes : 3143 (X = 666,8 ; Y = 85,4 ; Alt. = 357 m).

Localisation géographique : zone inférieure des coteaux du massif des puys de Banne et d'Anzelle, à proximité amont de la rupture de pente.

Caractères topographiques :

— pente locale : 7 p. 100 vers le sud-ouest.
— sommet du versant : dénivellation : 115 m.
distance : 1,3 km.
pente moyenne 9 p. 100.
pente maximum : 13 p. 100.
— pied du versant : dénivellation : 6 m.
(rupture de pente) : distance : 0,1 km.
pente moyenne : 6 p. 100.

Végétation : friche herbeuse à *Brachypodium pinnatum* (L.) P. B. et *Agropyrum repens* (L.) P .B. dominants, envahie de *Prunus spinosa* L.

Description du profil :

0,0-0,2 m : sol argileux nettement calcaire, gris ; structure grumeleuse.
0,2-0,5 : sol argileux nettement calcaire ; structure nuciforme peu stable.
0,5-0,7 : limon gris clair ; structure faible.
0,7-1,0 et plus : marno-calcaires en plaquettes.

b) *Résultats analytiques*

Les analyses effectuées sur les quatre profils choisis sont rassemblées dans la première partie du tableau 10. Les résultats granulométriques font l'objet de la fig. 13.

c) *Interprétation*

Tous ces profils montrent la grande variabilité des rapports entre le sol et son support. Ainsi, l'absence de relation génétique apparaît distinctement à Lempdes (2247) où le sol est plus carbonaté que le substratum si l'on fait abstraction de la croûte calcaire déposée sur les marnes en plaquettes. Elle se voit également à Cournon (2335) où le sol présente une charge d'éléments grossiers hétérométriques absente du limon sous-jacent.

Par contre, dans les profils de bas de versant (2338 et 3143) la granulométrie et le taux de carbonates ne présentent pas de variations anormales entre le sol et le substratum.

La capacité de rétention pour l'eau (C. R.) mesurée sur la terre fine ne distingue guère les limons et les sols, prouvant ainsi que ce caractère dépend surtout des colloïdes minéraux en proportions peu différentes dans ces deux types de formations. Mais, dans le profil 2335, elle marque une différence notable en faveur de l'horizon superficiel particulièrement riche en carbone. Dans les autres échantillons de sol, relativement homogènes par leur teneur en matières organiques, elle a tendance à être d'autant plus forte que le sol est moins carbonaté. Cette relation apparaît normale en Limagne où le taux des colloïdes minéraux et celui des carbonates varient en sens inverse au cours de l'évolution pédologique.

L'étude des matières organiques ne met pas en évidence de faits remarquables puisque les rapports C/N oscillent entre 10 et 14 et que les acides humiques et ful-

TABLEAU IO

Analyses chimiques des sols sur formations marneuses

Origine	Référence	Végétation	Nature des horizons	Profondeur en mètres	P. 1000 de terre fine sèche						P. 100 de carbone									
											Acides humiques				Acides fulviques					
					pH	C.R.	CO_3Ca	C	N	C/N	H1	H2	H3	ΣH	F1	F2	F3	ΣF	ΣH/ΣF	ΣH + ΣF
Sols de croupe et sols de pente																				
Cournon	2335 *a*	friche	sol	0,00-0,02	8,0	383	340	48,7	4,57	10,6	4,2	10,2	3,4	17,8	0,8	8,4	0,7	9,9	1,80	27,7
	b			0,2-0,35	8,4	309	394	14,1	1,46	9,7	3,2	15,9	10,5	29,6	1,3	6,2	4,2	11,7	2,53	41,3
	c		limon	0,4-0,7		358	717	4,6	0,48	9,6										
Lempdes	2247 *a*	friche	sol	0,0-0,15	8,35	414	134	26,5	2,14	12,4										
	b			0,25-0,35	8,55	380	153	23,3	1,70	13,7										
	c		croûte calcaire	0,35-0,40			755													
	d		marne	0,45			30													
Cournon	2338 *a*	cultures	sol	0,0-0,15	8,2	369	215	23,3	2,06	11,3	3,9	22,3	5,6	31,8	1,3	13,3	4,5	19,1	1,61	50,9
	b			0,3-0,4	8,1	362	254	12,4	1,01	12,3	1,7	34,6	9,4	45,7	1,4	17,0	3,3	21,7	2,10	67,4
	c		transition	0,70-9	8,4	338	392	6,9	0,53	13,0	2,2	15,8	10,2	28,2	1,2	8,0	5,9	15,1	1,87	43,3
Lempdes	3143 *a*	friche	sol	0,1-0,15	8,6	311	346	20,9	2,22	9,4	1,4	12,0	5,3	18,7	0,5	9,7	4,1	14,3	1,31	33,0
	b			0,4-0,5	8,8	303	347	14,1	1,40	10,3	1,8	14,6	7,0	23,4	0,7	12,2	5,4	18,3	1,28	41,7
	c		limon	0,6-0,7		323	418	11,7	1,15	10,2	2,0	9,6	6,3	17,9	0,9	7,2	5,1	13,2	1,36	31,1
Sols de piémont																				
Cournon	3141 *a*	pelouse	sol	0,0-0,1	8,25	469	25	28,5	2,08	13,7	1,7	19,3	13,4	34,4	3,1	5,5	4,2	12,8	2,69	47,2
	b			0,15-0,4	8,15	464	47	17,6	1,27	13,8	1,3	21,8	7,7	30,8	3,3	6,7	3,8	13,8	2,23	44,6
	c			0,5-0,6	8,1	521	34	20,7	1,55	13,4	0,7	32,5	4,7	37,9	3,6	9,5	2,6	15,7	2,42	53,6
St-André-le-Coq	3016 *a*	cultures	sol	0,3-0,4	7,9	570	12	13,0	1,05	12,4	2,1	39,4	7,8	49,3	4,9	7,8	7,2	19,9	2,48	69,2
	b			0,6-0,65	8,05	588	tr	13,7	1,09	12,6	1,6	26,8	7,1	35,5	2,8	6,3	6,5	15,6	2,28	51,1
	c		limon	0,8-1,0		400	247	27,5	1,19	23,1	1,2	6,5	3,1	10,8	1,4	3,3	1,5	6,2	1,74	17,0
	d		sableux	1,1-1,15		347	400	13,3	0,78	17,1										
	e		marno-calcaire	1,2-1,4			488													
Lempdes	2997 *a*	cultures		0,0-0,35	8,1	488	227	21,7	2,05	10,6	2,1	20,3	7,4	29,8	1,2	11,3	6,5	19,0	1,57	48,8
	b		sol	0,4-0,75	8,3	525	173	12,3	0,91	13,7	1,6	37,2	12,2	51,0	2,0	7,2	11,1	20,3	2,51	71,3

	e			2,3-2,3	8,1	640	0	21,6	0,85	25,4	1,3	25,2	26,5	53,0	1,3	4,0	2,3	7,6	6,97	60,6
	f			2,8-3,2	8,25	721	237	38,2	3,4	11,2										
	g		vase grise	3,5-3,7	8,1	988	283	73,3	6,9	10,6										
	h			4,5-4,7	8,0	489	354	37,8	2,6	14,5										
	i		limon	5,6-6,2		587	500	21,0	1,8	11,7										
Lempdes	2998 *a*	pelouse	sol	0,0-0,3	8,25	494	145	28,6	2,28	12,5	3,5	37,7	8,8	50,0	1,3	13,9	3,3	18,5	2,70	68,5
	b		anmoor	0,5-0,7	7,9	688	0	35,5	1,56	22,9	0,5	26,4	27,5	54,4	0,9	4,9	1,5	7,3	7,05	61,7
	c		vase grise	0,7-1,2	8,2	615	246	23,2	1,10	21,1	0,6	31,1	3,1	34,8	0,5	6,1	4,2	10,8	3,22	45,6
	d		limon	1,5-1,8		486	527	4,6	0,39	11,8	3,1	2,4	3,5	9,0	3,3	7,2	11,3	21,8	0,41	30,8
	e			1,9-2,1		458	535	18,4	0,66	27,9	1,0	0,2	0,9	2,1	0,7	3,3	2,7	6,7	0,31	8,8
								Sols de plaine												
Entraigues	3129 *a*	cultures	sol	0,0-0,15	7,85	443	26	22,2	2,01	11,1	3,4	12,2	9,2	24,8	3,4	13,2	5,7	22,3	1,11	47,1
	b			0,35-0,4	8,35	441	37	11,6	1,09	10,6	1,9	31,1	5,4	38,4	4,0	20,5	5,5	30,0	1,28	68,4
	c		limon	0,55-0,6		403	486	8,0	0,74	10,8	2,1	4,1	0,9	7,1	1,3	10,9	5,9	18,1	0,39	25,2
Ennezat	2999 *a*	pelouse	sol	0,2-0,3	7,9	401	0	11,7	1,03	11,6	2,3	27,1	17,2	46,9	3,5	8,7	3,3	15,5	3,03	62,5
	b			0,6-0,7	9,0	670	0	8,5	0,68	12,5	3,8	18,7	24,9	47,4	3,4	8,4	3,1	14,9	3,18	62,3
	c		transition	0,8-1,0		720	0	8,4	0,57	14,7	3,1	11,9	12,6	27,6	2,2	1,4	2,4	6,0	4,60	33,6
	d		limon	1,1-1,2		405	573	5,1	0,45	11,3	2,2	7,5	0,2	9,9	1,5	1,4	2,4	5,3	1,87	15,2
St-André-le-Coq	3017 *a*	pelouse	sol	0,25-0,35	7,8	532	16	12,9	0,95	13,3	1,3	15,2	19,7	36,2	2,4	9,1	9,3	20,8	1,74	57,0
	b			0,45-0,6	8,1	522	67	9,8	0,70	13,8	1,2	37,6	10,3	49,1	3,4	11,0	7,8	22,2	2,21	71,3
	c		limon	0,7-0,8		453	336	11,5	0,93	12,4	0,9	1,8	3,2	5,9	1,8	5,7	4,7	12,2	0,48	18,1
	d		marne	1,2-1,3			95	9,5	0,60	15,8										
Surat	3138 *a*	cultures	sol	0,1-0,2	8,1	562	86	26,5	2,38	11,1	2,8	31,5	6,1	40,4	1,6	11,2	5,9	18,6	2,17	59,0
	b			0,4-0,45	8,4	558	182	17,7	1,70	10,4	1,2	43.1	6,2	50,5	1,0	11,4	3,2	15,6	3,24	66,1
	c		limon	0,55-0,6		478	344	9,0	0,94	9,6										
Seychalles	3096 *a*	cultures	sol	0,0-0,2	8,15	433	484	34,6	3,18	10,9	1,7	32,8	6,9	41,4	0,7	15,3	4,3	20,3	2,04	61,7
	b			0,2-0,3	8,35	397	544	35,3	3,05	11,6	1,4	41,6	5,2	48,2	0,8	15,6	3,9	20,3	2,37	68,5
	c		transition	0,3-0,5	8,55	416	624	22,7	1,51	15,1	1,0	48,5	5,5	55,0	1,1	14,5	3,8	19,4	2,58	74,4
	d		limon	0,8-1,0		261	790													
St-André-le-Coq	3127 *a*	pelouse	sol	0,1-0,15	7,45	515	0	21,0	1,72	12,2	2,0	26,1	7,3	35,4	2,7	14,2	3,1	20,0	1,77	55,4
	b			0,35-0,4	7,4	547	0	11,3	0,97	11,7	2,6	27,7	9,9	40,2	2,4	17,4	4,9	24,7	1,63	64,9
	c			0,5-0,55	7,5	655	0	8,9	0,81	11,0	2,5	20,9	10,7	34,1	2,0	11,7	4,7	18,4	1,85	52,5
	d		limon sableux	0,7-0,8		298	293													
	e		marno-calcaire	1,2-1,3			423													

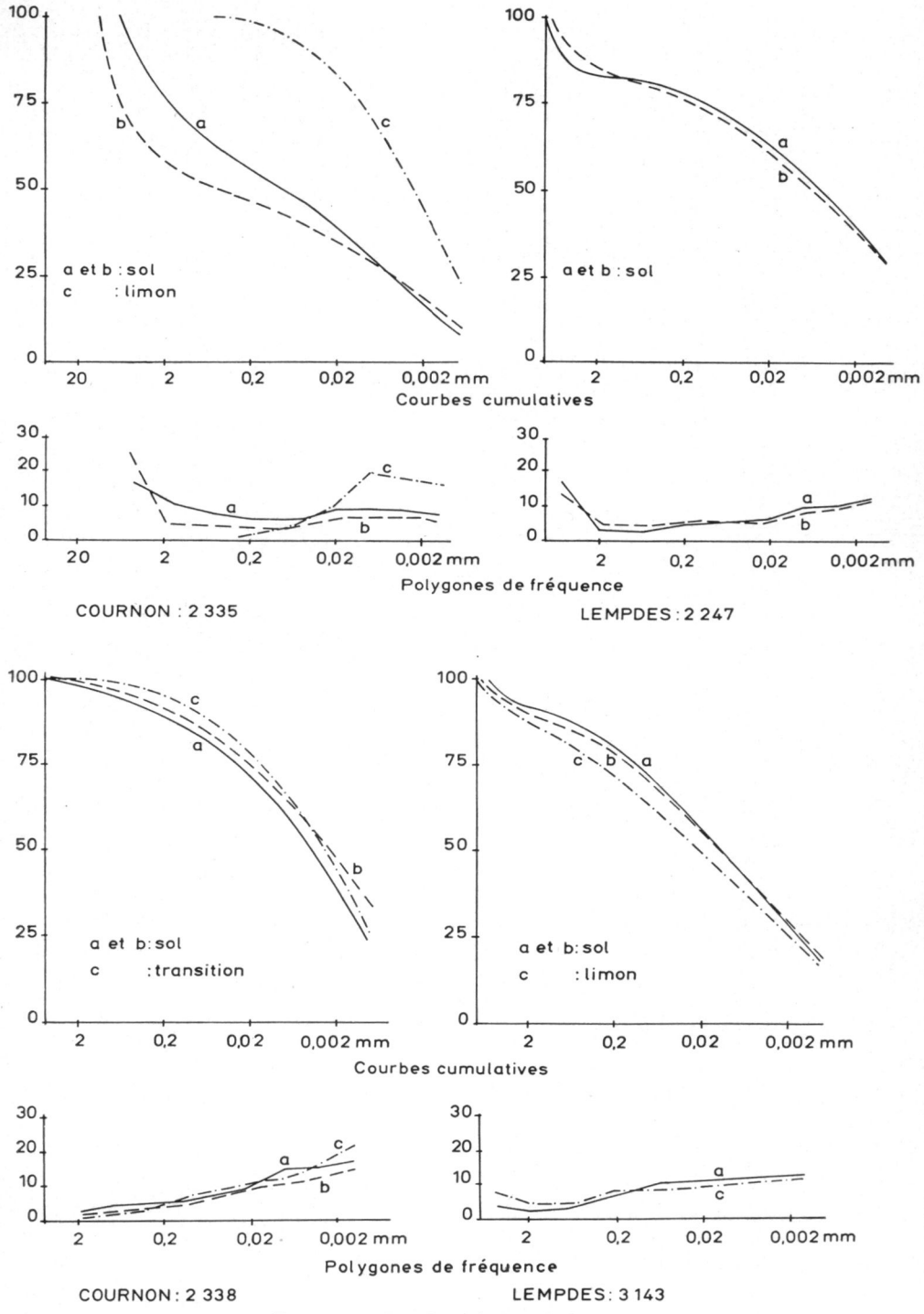


FIG. 13. — *Granulométrie des sols de pente*

viques liés aux argiles par le calcium constituent la fraction soluble la plus importante. L'horizon superficiel du profil 2335 est peu humifié car il comprend surtout des résidus non décomposés de la litière herbacée.

2°) Les sols de piémont

Dans les zones marginales des cuvettes limagnaises et au pied des versants, les formations meubles superficielles sont particulièrement épaisses. Sans inclure les épandages d'alluvions sableuses dont la puissance atteint 12 et 15 m au débouché dans la plaine des talwegs descendant de la Chaîne des Puys, il existe en certains points des accumulations colluviales, sols et limons, dépassant 6 m.

Parce qu'il s'agit de dépôts colluviaux, leur épaisseur résulte du rapport de deux éléments. Primo, le volume des matériaux érodés à l'amont qui dépend : de l'agressivité du climat ; de la longueur et de l'inclinaison du versant ; également de la qualité des affleurements géologiques, certaines strates ayant une nette propension à fournir des limons ; et enfin, de la couverture végétale. Secundo, la dimension de la surface d'accumulation liée à la topographie, en particulier à la largeur a mont-aval du piémont.

Loin des coteaux, les sols de la plaine reprennent une épaisseur normale de 0,3 à 0,6 m.

Agent très efficace, l'Homme a rompu les équilibres naturels par son action sur la couverture végétale. Dans le passé, son intervention s'est traduite par une reprise de l'érosion et du colluvionnement qui a provoqué le renversement des profils dans les zones de piémont.

Pour concrétiser l'ensemble des phénomènes naturels et anthropiques, nous avons retenu quatre profils prélevés dans des situations topographiques un peu différentes.

Le premier (Cournon, 3141) est situé en tête de vallonnement, en position haute par rapport à la plaine comme l'indique sa cote altitudinale.

Le second (Saint-André-le-Coq, 3016) est particulier par la nature sableuse de son limon et sa localisation à proximité de la rupture de pente.

Les derniers (Lempdes, 2997 et 2998) sont en position basse, prélevés dans le marais de Lempdes ; l'un (2997) se trouve à proximité immédiate des versants alors que l'autre (2998) plus éloigné des coteaux, représente un type de transition annonçant les sols de la plaine proprement dite.

a) *Morphologie des profils*

Cournon : 3141 (X = 665,4 ; Y = 84,8 ; Alt. = 442 m).

Localisation géographique : tête de vallon entre les buttes de Gandaillat et le puy d'Anzelle.

Caractères topographiques :

— pente locale : 1,5 p. 100 vers le sud dans l'axe du vallon.

Végétation: pelouse sèche à *Bromus erectus* Huds. dominant.

Description du profil :

0,0-0,15 m : sol argileux, peu calcaire, brun foncé ; structure grumeleuse ; racines assez abondantes.
0,15-0,45 : sol argileux, peu calcaire, brun ; structure nuciforme.
0,45-0,6 : sol argileux, peu calcaire, brun-noir ; structure polyédrique.
0,6 et plus : marno-calcaires fragmentés inclus dans un limon gris clair pulvérulent à l'état sec.

***

Saint-André-le-Coq : 3016 (X = 676,3 ; Y = 105,8 ; Alt. = 315 m).

Localisation géographique : zone inférieure des pentes orientales du marais, au sud de Pagnan ; aval immédiat de la rupture de pente.

Caractères topographiques :

— pente locale : 2,5 p. 100 vers l'ouest.
— sommet du coteau (terrasse de 120 m de l'Allier) : dénivellation : 65 m. distance : 1,0 km. pente moyenne : 6,5 p. 100. pente maximum : 18 p. 100.
— marais (niveau de base local) : dénivellation : 8 m. distance : 2,1 km. pente moyenne : 0,4 p. 100.

Végétation : cultures annuelles.

Description du profil :

0,0-0,65 m : sol argileux non calcaire, brun foncé ; structure polyédrique, surstructure prismatique ; présence de galets épars.
0,65-1,15 : limon argilo-sableux, calcaire, gris ; structure à tendance continue et relativement stable ; présence de galets plus abondants à la base où ils sont enrobés de carbonate pulvérulent, surtout à leur face supérieure.
1,15-1,3 : marno-calcaires en plaquettes.
1,3-1,5 et plus : marno-calcaires peu fissurés et compacts.

***

Lempdes : 2997 (X = 664,9 ; Y = 87,1 ; Alt. = 325 m).

Localisation géographique : zone marécageuse au pied du versant nord de Gandaillat et du versant ouest du Suquet.

Caractères topographiques :

— pente locale : 0,5 p. 100 vers le nord-ouest.

— sommet du versant : dénivellation : 80 m.
distance : 1,2 km.
pente moyenne : 6,6 p. 100.
pente maximum : 27 p. 100.
— talweg de la Raze de Sarlièvе : dénivellation : 0,3 m.
distance : 0,1 km.
pente moyenne : 0,3 p. 100.

Végétation : cultures annuelles. Fossés d'assainissement envahis par *Phragmites communis* Fries, *Typha latifolia* L. et *Carex* sp.

Description du profil :

0,0-0,35 m : sol argilo-calcaire, gris foncé ; structure nuciforme.
0,35-0,8 : sol argilo-calcaire plus foncé ; structure polyédrique ; surstructure prismatique.
0,8-1,05 : sol foncé avec lentilles de limons incorporés.
1,05-2,3 : gley à anmoor, noir comme l'encre, non calcaire ; structure grasse continue ; constamment baigné par la nappe phréatique.
2,3-2,5 : anmoor à matières organiques très humifiées qui tachent les doigts et confèrent un aspect poisseux ; structure grasse continue.
2,5-3,3 : vase gris clair, calcaire, plastique, riche en Diatomées ; structure massive faible.
3,3-3,7 : vase gris foncé, calcaire, plastique, légèrement sableuse ; en particulier présence de paillettes de micas dorés.
3,7-5,2 : vase grise et calcaire.
5,2-6,2 : limon argilo-calcaire beige.

***

Lempdes : 2998 (X = 666,8 ; Y = 87,3 ; Alt. : 322 m).

Localisation géographique : zone marécageuse au nord du bourg de Lempdes.

Caractères topographiques :

— pente locale : 0,2 p. 100 vers l'est ;

Végétation : pelouse pâturée à *Poa pratensis* L., *Bromus erectus* Huds. dominants.

Description du profil :

0,0-0,3 m : sol argilo-calcaire, brun foncé ; structure nuciforme à polyédrique ; dense feutrage de racines.
0,3-0,5 : sol argilo-calcaire, noir ; structure massive, surstructure prismatique.
0,5-0,7 : anmoor, noir comme l'encre, à humus colorant les doigts ; structure massive compacte. Nappe phréatique captive.
0,7-1,25 : vase grise mêlée de limon argilo-calcaire ; structure continue faible ; présence de Gastéropodes aquatiques.
1,25-1,9 : limon gris, argilo-calcaire ; structure continue.
à plus de 1,9 : limon bleu verdâtre.

La fluctuation de la nappe phréatique semble comprise entre 0,5 et 0,8 m.

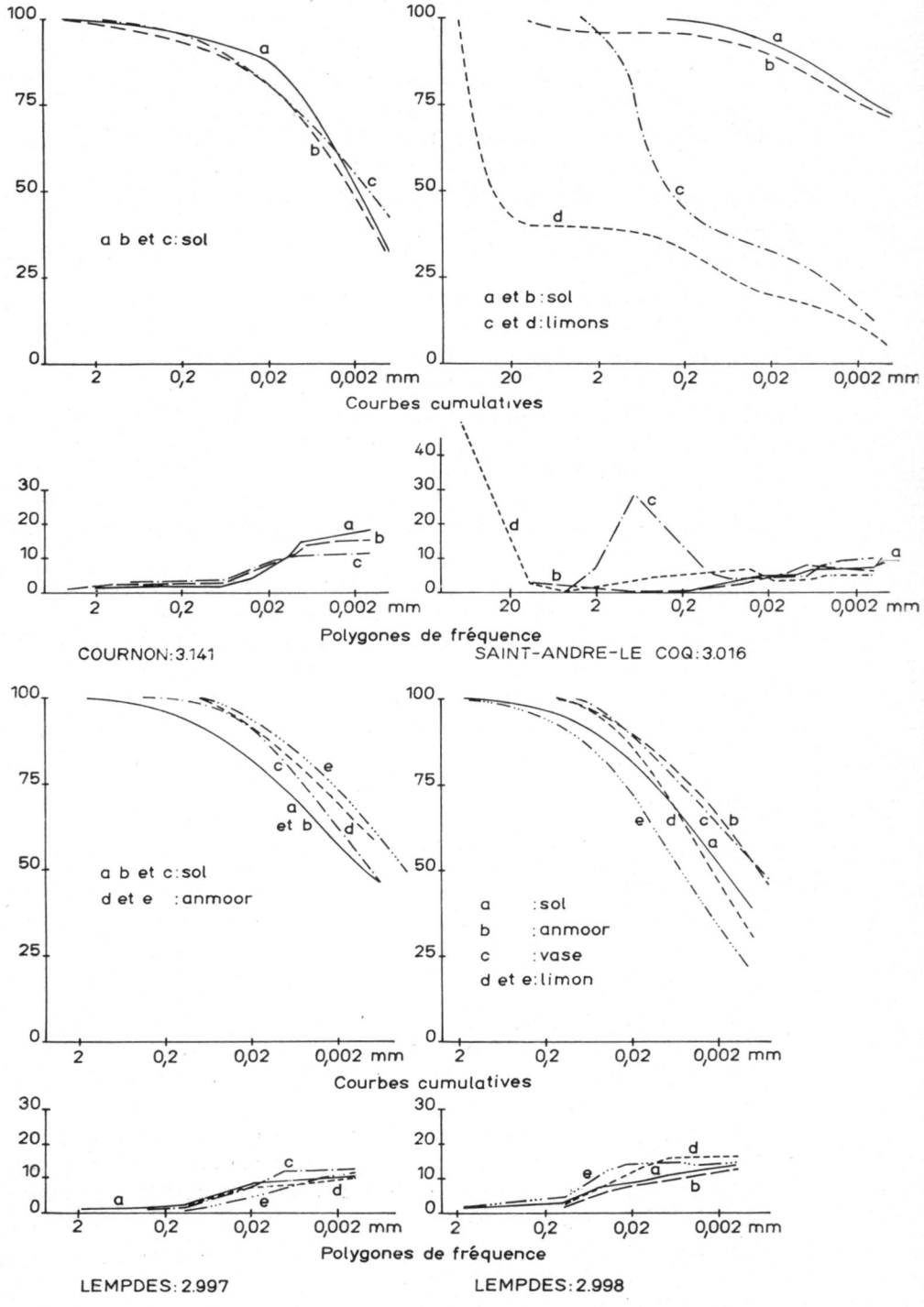


FIG. 14. — *Granulométrie des sols de piémont*

b) *Résultats analytiques*

Les caractères chimiques et granulométriques de ces 4 profils de piémont sont donnés respectivement au tableau 10 et à la figure 14.

c) *Interprétation*

Tous ces profils ont des caractères remarquables dont les uns leur sont communs et dont les autres sont particuliers à chacun d'eux.

Caractères communs. D'abord la présence d'horizons profonds dans lesquels se relèvent les taux du carbone et de l'azote, autrement dit la teneur en matières organiques totales. Ensuite, le gradient des carbonates qui augmente généralement de la base vers la surface du sol et qui varie en sens inverse de la capacité de rétention sauf en présence d'abondantes matières organiques.

Ces faits sont les indices de sols *primitifs enterrés par des apports colluviaux de sols de plus en plus calcaires, donc plus jeunes*, provenant des coteaux progressivement soumis à une érosion plus agressive.

Caractères particuliers. A partir de cette hypothèse fondamentale les nuances enregistrées entre les résultats fournis par les quatre profils décrits s'interprètent logiquement.

En effet, le sol 3141 est dans une situation relativement peu touchée par le colluvionnement puisque son épaisseur ne dépasse pas 0,6 m ; il a donc reçu de faibles apports de sols eux-mêmes déjà bien évolués si l'on en juge par le taux des carbonates.

Le profil 2997 apporte un exemple opposé. Provenant de la dépression latérale empruntée par la Raze de Sarlième — sur le tracé d'un ancien bras temporaire de l'Artières — qui longe les versants fortement déclives de Gandaillat, il comprend plus de 6 m de dépôts sous-lacustres puis aériens. Là aussi, l'anmoor qui représente un sol semi-terrestre selon la terminologie de KUBIENA (1953) a été ensevelie sous des colluvions dont la teneur en carbonates varie suivant l'intensité des érosions successives.

Le profil 2998 possède les mêmes caractères que le numéro 2997 sur une plus faible épaisseur car le marais d'où il provient se trouve à la base de longs versants peu inclinés.

Les horizons de gley à anmoor présents dans ces deux profils sont caractérisés par les valeurs élevées du rapport C/N, consécutives aux conditions d'anaérobiose dues à l'engorgement par l'eau ; également, par la très forte proportion d'acides humiques liés aux colloïdes minéraux autant et plus par les sesquioxydes que par le calcium, fait qui résulte, sans doute, de l'absence d'éléments carbonatés. Mais, la nappe phréatique entretient l'alcalinité du milieu et la saturation du complexe absorbant puisque le pH est voisin de 8 et que le rapport 100 S/T dépasse 100 (tableau 11). La richesse du complexe en magnésium est remarquable et, suivant ZAVALISHIN, serait due à une rétention de Mg plus énergique que celle de Ca. Selon R. MAIGNIEN (1961) elle serait favorable à la synthèse d'argiles montmorillonitiques.

Quant au profil particulier de Saint-André-le-Coq (3016), il comprend un limon sableux dans lequel s'accumulent les carbonates lessivés du sol. L'observation du fossé d'assainissement dont il provient montre que ce limon est disposé en lambeaux

discontinus au-dessus des marno-calcaires. Une telle distribution provoque le rassemblement des eaux de drainage aux points bas de ces placages et explique la nécessité d'un assainissement malgré la pente encore appréciable.

TABLEAU II

Analyses du complexe absorbant des sols de plaine et de piémont non carbonatés (en m val. p. 100 de terre fine sèche)

Référence	Sols de piémont			Sols de plaine				
	2997		2998	2999		3127		
	d	*e*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*c*
Capacité d'échange à pH 7 (T)	58,2	57,4	67,8	43,1	50,7	54,8	53,2	51,4
Ca	41,0	41,7	50,6	29,1	31,2	39,9	38,9	39,3
K	2,0	2,5	3,1	0,5	0,7	1,1	1,1	1,1
Mg	15,9	16,8	17,8	8,4	15,4	7,2	7,6	8,8
Total (S)	58,9	61,0	71,5	38,0	47,3	48,2	47,6	49,2
Taux de saturation à pH7 $\left(\frac{S}{T} \times 100\right)$	101	106	105	88	93	88	90	96

Le limon doit sa nature sableuse et caillouteuse aux alluvions pliocènes qui coiffent le sommet du versant. Sa granulométrie est nettement polyphasée, attestant ainsi plusieurs remaniements successifs. La phase fine à distribution plutôt hyperbolique correspond aux matériaux limoneux proprements dits ; la phase moyenne, sableuse, est incorporée au fond limoneux sur toute l'épaisseur de la formation ; enfin, la phase grossière, celle des galets, apparaît comme une surcharge résiduelle non évacuée. Il ne semble pas que la présence d'une forte composante sableuse ait modifié les caractères des matières organiques puisque ce limon conserve un C/N élevé et une faible proportion de carbone soluble.

Mais le trait essentiel d'un tel limon est sa perméabilité qui favorise le lessivage du calcaire ; d'où l'absence quasi totale de carbonates dans le sol. Parallèlement, nous constatons, une nouvelle fois, que le sol est particulièrement fin, avec près de 80 p. 100 de colloïdes minéraux inférieurs à 2 μ.

3°) Les sols de plaine

Nous croyons utile de rappeler que nous avons rangé parmi les sols de piémont les sols colluviaux des zones marginales de la plaine caractérisés par des niveaux humifères enterrés et, d'une manière générale, par leur épaisseur. Nous avons déjà souligné au cours de l'étude de la distribution des carbonates le long du profil que dans le centre de la plaine les sols avaient une profondeur relativement faible qui n'excédait guère 0,60 m.

L'observation nous porte à croire qu'au-delà de cette épaisseur, les sols ont une origine colluviale au moins partielle qui les fait ranger dans les sols de piémont.

Parmi les profils que nous présentons, les numéros 3129 et 2999 proviennent des larges interfluves qui séparent les talwegs limagnais. Les sols 3017, 3096 et 3138 sont prélevés dans des « marais » qui sont traversés par des ruisseaux au faible débit, de manière à échapper ainsi au maximum aux « pollutions » alluviales ; ils montrent la forte amplitude du taux des carbonates suivant la qualité du substratum. Enfin, le numéro 3127 est particulier par la nature fortement sableuse de son limon et sert de transition avec les sols sur alluvions que nous étudierons par la suite.

a) *Morphologie des profils*

Entraigues 3129 : (X = 671,2 ; Y = 100,3 ; Alt. = 318 m).

Localisation géographique : large interfluve entre la Morge et l'Ambène.

Caractères topographiques :

— pente locale : 0,5 p. 100 vers l'ouest.

Végétation : luzerne.

Description du profil :

0,0-0,40 m : sol brun foncé, argileux, décarbonaté en surface ; structure nuciforme puis polyédrique à angles vifs à la base.
0,4-0,45 : transition.
0,45-1,2 et plus : limon argilo-calcaire gris-beige possédant quelques éléments sableux, quartzeux et volcaniques, totalement exploré par les racines.

***

Ennezat 2999 : (X = 667,2 ; Y = 99,0 ; Alt. = 315 m).

Localisation géographique : large interfluve entre l'Ambène et le Bédat.

Caractères topographiques :

— pente locale : 0,5 p. 100 vers l'Ambène au nord-est.
— berges de l'Ambène : dénivellation : 4 m.
distance : 0,6 km.
pente moyenne : 0,7 p. 100.

Végétation : prairie naturelle à *Bromus erectus* Huds. et *Poa pratensis* L. dominants.

Description du profil :

0,0-0,30 m : sol argileux, brun foncé ; structure nuciforme ; dense feutrage de racines.
0,35-0,6 ou 0,8 : sol argileux, noir ; structure prismatique surtout à la base, présence de rares galets quartzeux.

0,6 ou 0,8-1,0 : transition limoneuse grise ; structure plus ou moins continue, nettement affaiblie.
1,0 - 1,6 et plus : limon beige à structure massive.

***

Saint-André-le-Coq 3017 (X = 674,3 ; Y = 108,3 ; Alt. = 308 m).

Localisation géographique : partie nord du marais, à l'est de « la Maison-Neuve ».

Caractères topographiques :

— pente longitudinale : 0,15 p. 100 vers le sud-ouest.
— pente latérale : inférieure à 0,3 p. 100 sur 1 km environ en direction des coteaux du nord-ouest et du sud-est.

Végétation : cultures annuelles.

Description du profil :

0,0-0,6 m : sol argileux, noir, faiblement calcaire en profondeur ; structure polyédrique, surstructure prismatique ; présence de quelques galets plus fréquents à la base.
0,6-0,9 : limon gris clair disparaissant latéralement contenant quelques galets.
0,9-1,3 et plus : marne verdâtre en plaquettes.

***

Surat 3138 : (X = 673,3 ; Y = 104,5 ; Alt. = 303 m).

Localisation géographique : partie sud du marais, entre les deux grandes razes orientées nord-sud.

Caractères topographiques : pente : 0,1 p. 100 vers le sud.

Végétation : cultures annuelles.

Description du profil :

0,0-0,5 m : sol argileux et calcaire, noir ; structure nuciforme devenant prismatique à la base.
0,5-0,7 : limon gris clair.

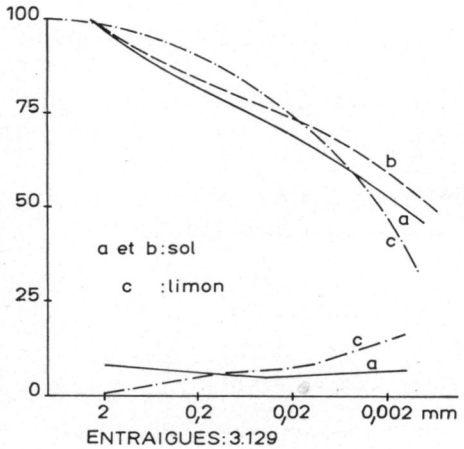
***

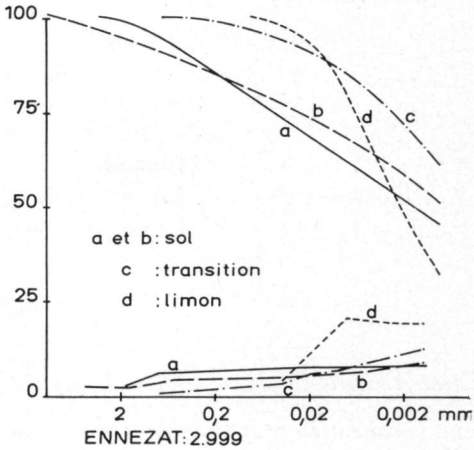
Seychalles 3096 : (X = 677,1 ; Y = 91,2 ; Alt. = 316 m).

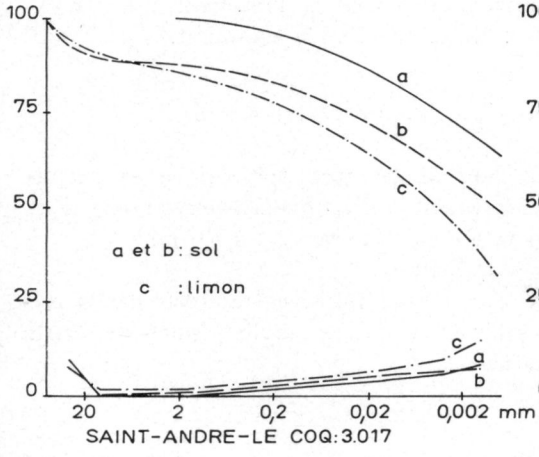
Localisation géographique : centre du petit marais situé au sud du « Pont-des-Moulins ».

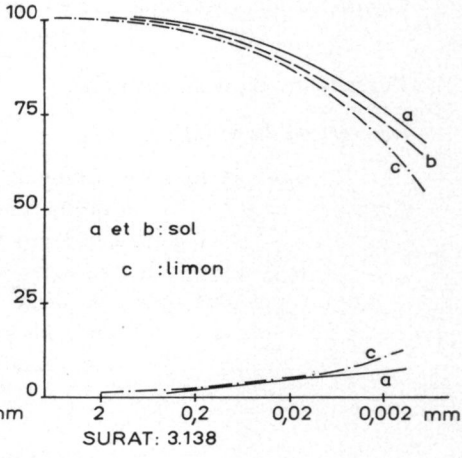
Caractères topographiques : pente : 0,3 p. 100 vers le nord.

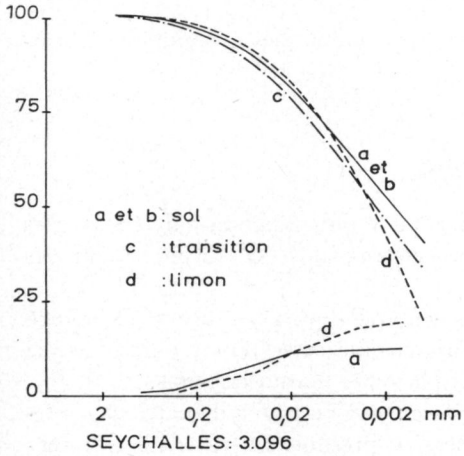
Végétation : cultures annuelles.











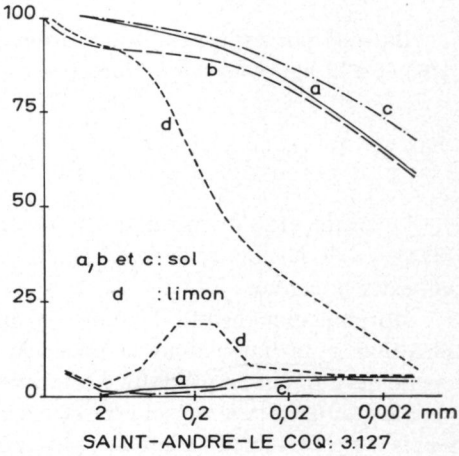


FIG. 15. — *Granulométrie des sols de plaine*

Description du profil :

0,0-0,3 m : sol argilo-calcaire brun foncé ; structure polyédrique à angles vifs.
0,3-0,5 : sol argilo-calcaire brun, avec des veines de limon gris ; structure prismatique.
0,5-0,6 : transition.
0,6-1,2 et plus : limon argilo-calcaire, beige clair ; structure massive faible ; présence de rares taches d'oxyde ferrique.

***

Saint-André-le-Coq 3127 : (X = 675,5 ; Y = 105,4 ; Alt. = 307 m.).

Localisation géographique : partie sud-est du marais, au sud de « Pra gelia ».

Caractères topographiques : très faible bombement à l'intérieur du marais ; pente : 0,1 p. 100 vers le sud-ouest.

Végétation : parcelle en friche.

Description du profil :

0,0-0,55 m : sol argileux noir à structure polyédrique en surface devenant nettement prismatique au-dessous de 0,20 m. Épaisseur totale variable de 0,45 à 0,6 m.
0,55-0,6 : horizon gris de transition ;
0,6 à 1,3 et plus : limon beige à structure massive stabilisée par la présence de sables et même de graviers (galets de quartz et de basaltes).

b) *Résultats analytiques*

Ils sont portés aux tableaux 10 et 11 (analyses chimiques et complexe absorbant) et à la figure 15 (Granulométrie).

c) *Interprétation*

Le profil 3129 d'Entraigues représente le type le plus répandu dans les parties « hautes » de la plaine, dénivellées de quelques mètres au-dessus du lit majeur des ruisseaux limagnais.

Morphologiquement, il comprend un sol peu épais qui passe après une mince transition à un limon dont la présence est discontinue et se réduit parfois à une couche de 5-10 cm de produits d'altération sur place des marno-calcaires.

La granulométrie du sol est extrêmement fine : 50 à 60 p. 100 de particules inférieures à 2 μ ; très peu de sables ; pas de graviers ou presque. La capacité de rétention est donc forte, comprise le plus souvent entre 400 et 600 p. 1 000.

Malgré cette finesse, le sol possède une bonne structure, extrêmement stable grâce à la saturation du complexe et aux matières organiques fortement humifiées ; les liaisons entre l'argile et l'humus se font essentiellement par l'intermédiaire du calcium. La capacité d'échange cationique est élevée puisqu'elle atteint en moyenne 50 m val. pour 100 g. Mais ces caractères se retrouvent à peu de choses près dans l'ensemble des sols calcimorphes limagnais.

Par contre, à l'inverse de la plupart des profils de piémont, le taux des carbonates va croissant de la surface à la base du sol. Cette distribution verticale du calcaire apparaît normale pour des sols qui reçoivent actuellement 600 mm de précipitations annuelles moyennes, et en ont reçu certainement davantage à certaines périodes du Postglaciaire. Avec leur faible épaisseur, ces sols drainent en automne et surtout au printemps ; les eaux évacuent ainsi progressivement les carbonates dissous.

Le sol 2999 d'Ennezat est différent du précédent par la présence d'une composante sableuse plus importante et exceptionnelle hors des placages d'alluvions. Le sous-sol comprend de très rares galets qui marquent tout de même des apports alluviaux certains, et qui ont disparu dans le limon. L'examen minéralogique des sables à la loupe binoculaire révèle qu'il s'agit de petits grains de quartz accompagnés de quelques minéraux noirs — amphiboles ou pyroxènes — tous aux arêtes peu émoussées. Ces éléments grossiers, sables et galets, attestent que le sol s'est formé pour partie aux dépens d'une formation alluviale qui doit être tenue pour responsable de la moindre capacité d'échange, et aussi de la décarbonatation totale du sol. Si bien que ce profil présente l'un des complexes les moins saturés que nous ayons rencontrés en Limagne. Le limon de ce profil est par contre tout à fait normal.

Avec le profil 3017 nous descendons dans les parties basses de la plaine, qui portent des sols peu épais dont le gradient de carbonates demeure positif en allant du haut vers le bas. Le sous-sol contient quelques rares galets mais pas de composante sableuse comme dans le cas précédent. La distribution de ces galets, plus abondants vers le contact sol-limon est un indice complémentaire en faveur de l'hypothèse qui en fait une formation résiduelle, bien caractérisée par sa phase granulométrique distincte.

Mais un autre trait intéressant de ce profil est le contraste qui oppose le limon et le substratum marneux par leurs teneurs en calcaire. Cette opposition apporte une preuve des transports généralisés qu'ont subis les limons, même dans les zones les plus plates. Car, on ne voit guère comment expliquer par une formation in situ la forte teneur en carbonates du limon ici présent.

Le profil 3138 de Surat est un autre exemple typique de ces sols de plaine peu profonds et plus carbonatés à la base, pour lesquels l'hypothèse d'une genèse sur place paraît tout à fait justifiée.

Le profil 3096 de Seychalles est le plus calcaire rencontré à bonne distance des côtes. C'est là son principal caractère que nous pensons lié à la très grande richesse en carbonates du substratum limoneux.

Enfin, le profil 3127 provient du marais de Saint-André-le-Coq, comme les numéros 3017 et 3138, mais il diffère par la décarbonatation complète du sol, et par la non-saturation de son complexe absorbant. Nous avons fait des constatations analogues chaque fois que le substratum limoneux est amendé par des sables qui réduisent son imperméabilité et facilitent ainsi l'évacuation des carbonates dissous

dans les eaux de drainage. Dans le cas considéré, les sables ont consolidé le limon et sont vraisemblablement responsables du microrelief local puisque leur présence coïncide avec l'étendue d'un très léger bombement de la surface du sol. Ces caractères topographiques, quoique faibles, ont probablement accentué le sens des phénomènes en favorisant l'évacuation des eaux profondes.

C. — Les sols sur substratum sableux

En raison de l'influence prépondérante exercée par la topographie sur la genèse des sols de Limagne, nous sommes conduit à distinguer les sols formés sur les nappes alluviales anciennes, généralement déchaussées par l'érosion et les sols formés sur les alluvions modernes localisées au contraire aux lits majeurs des rivières limagnaises, donc aux altitudes relatives les plus basses.

1°) Les sols sur alluvions anciennes

Les plus belles nappes alluviales déchaussées du périmètre marno-calcaire de la Limagne sont celles qui jalonnent les anciens cours de l'Allier, de la Morge et de la Sioule. Sur ces terrasses, on trouve des sols caractérisés par la présence d'une composante sableuse largement dominante qui les distingue donc des sols calcimorphes que nous venons de présenter.

La relation génétique de ces sols sableux avec leur substrat paraît évidente. En particulier, la texture est généralement le reflet de la granulométrie des alluvions immédiatement sous-jacentes. C'est ainsi que nous avons rencontré des sols grossiers dont le mode de la distribution granulométrique est compris entre 0,5 et 1 mm ; mais aussi des sols fins dont le caractère battant résulte d'une distribution centrée sur un mode de 80 μ (cf. fig. 5 p. 42)

A côté de ces sols sableux, il existe cependant quelques exemples de sols nettement argileux dont l'origine ne peut pas s'expliquer par des apports de colluvions argilo-calcaires en raison du déchaussement complet des nappes alluviales. La genèse de ces sols met donc en cause des processus morphologiques non encore invoqués auxquels nous avons jugé opportun de consacrer un chapitre particulier.

Nous voulons tout de même exposer maintenant le cas particulier des deux terrasses de Cormède, toutes deux situées au nord de Pont-du-Château, sur la commune des Martres-d'Artières. Il s'agit de deux terrasses emboîtées dont la plus haute, pourtant la plus proche du cours actuel de l'Allier, porte des sols noirs et argileux et la plus basse présente des sols typiques. L'étude des profils apporte la solution de ce contraste.

a) *Morphologie des profils*

Les Martres-d'Artières 2500 (X = 671,4 ; Y = 91,8 ; Alt. = 365 m.)

Localisation géographique : terrasse de 55-60 m de l'Allier (a^{1b}) à l'est de Cormède.

Caratères topographiques : déchaussée de toutes parts mais épaulée à l'ouest par la terrasse de 30-35 m.

Végétation : vigne en voie d'abandon.

Description du profil :

0,0-0,3 m : sol argileux, brun très foncé ; très riche en galets de nature surtout basaltique ; structure nuciforme.

0,3-0,8 et plus : limon argilo-calcaire beige ; structure continue.

***

Les Martres-d'Artières 2501 (X = 671,2 ; Y = 91,9 ; Alt. = 340 m.)

Localisation géographique : terrasse de 30-35 m de l'Allier (a^{1c}) à l'est de Cormède.

Caractères topographiques : déchaussée à l'ouest au-dessus de la plaine mais dominée à l'est par la terrasse de 55-60 m sur le talus de laquelle on observe des sols foncés argilo-calcaires.

Végétation : cultures annuelles.

Description du profil :

0,0-0,4 m : sol sableux, brun rougeâtre ; structure particulaire ; surstructure polyédrique ; présence de graviers de faibles dimensions.

0,4-0,8 et plus : sables grossiers surtout feldspathiques.

b) *Résultats analytiques*

Les caractères chimiques sont indiqués aux tableaux 12 et 13 et les caractères granulométriques à la figure 16.

c) *Interprétation*

L'analyse granulométrique montre que la nappe alluviale la plus ancienne (2500 *a*) est formée d'éléments de gros calibres (mode de l'ordre de 30 mm), auxquels se sont mélangés des éléments fins non triés provenant assurément du substratum argilo-calcaire proche de la surface (2500 *b*) puisque la fraction fine inférieure à 0,2 mm a une distribution analogue (courbe *a'*).

Le sol et le substratum de la terrasse inférieure présentent une constitution physique normale. Au sommet de la nappe, les alluvions ont un calibre moyen (mode voisin de 0,8 mm) et sont assez bien triés. Le sol qui en dérive s'est normalement chargé de parties fines par fragmentation et altération des constituants.

Rapporté à l'ensemble des échantillons, le taux brut de colloïdes minéraux inférieurs à 2 μ est peu différent dans les deux sols : 154 et 112 p. 1 000. Cependant, l'observation in situ montre que la terre de la terrasse supérieure est collante, argileuse et que celle de la terrasse inférieure est, au contraire, légère et sablonneuse. Ce contraste est nettement mis en évidence lorsque le taux des colloïdes est calculé sur la terre tamisée à 2 mm suivant les conventions admises en pédologie ; on trouve alors les chiffres respectifs de 456 et 143 p. 1 000. La capacité de rétention du sol pour l'eau confirme cette différence.

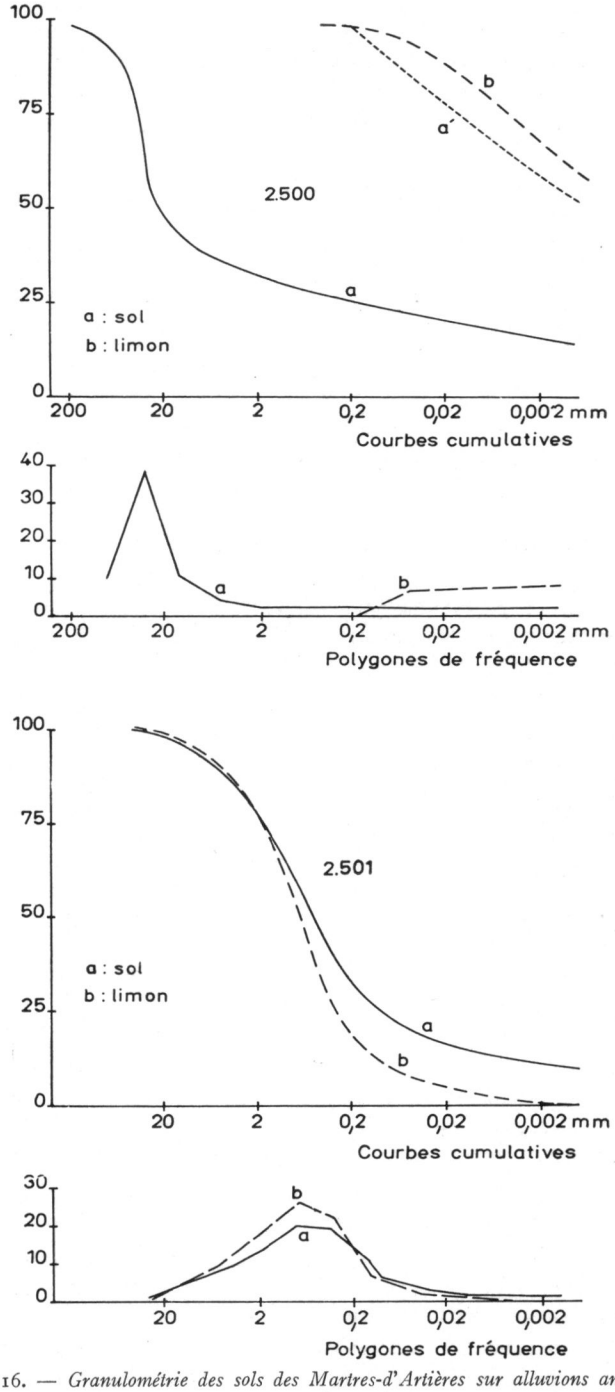


FIG. 16. — *Granulométrie des sols des Martres-d'Artières sur alluvions anciennes*

En raison de la très faible épaisseur des alluvions caillouteuses (a^{1b}) le substratum est parfois remonté en surface par les actions biotiques : labours ou terriers des animaux fouisseurs ; par exemple, la couleur gris clair des taupinières tranche sur le fond sombre du sol.

TABLEAU 12

Analyses chimiques des sols sur formations alluviales

Origine	Référence	Végétation	Nature des horizons	Profondeur en m.	P. 1 000 de terre fine sèche					
					pH	C. R	CO_3Ca	C	N	C/N
Sols sur alluvions anciennes										
Les Martres-d'Artières	2500 *a*....	vigne	sol	0,00,3	7,0	359	0	24,7	2,04	12,1
	b....		limon	0,40,5		420	328	10,6	0,54	19,8
Les Martres-d'Artières	2501 *a*....	cultures	sol	0,00,3	6,7	94	0	12,8	1,20	11,7
	b....		sables	0,60,7		48	0	3,7	0,39	9,4
Sols sur alluvions modernes										
Clermont-Ferrand	3048 *a*....	cultures		0,0-0,2	8,0	323	49	22,9	2,28	10,0
	b....		sol	0,4-0,6	8,2	348	53	13,9	1,57	8,9
	c....			0,8-1,2	8,0	316	21	8,2	0,94	8,7
	d....		sables	1,5-1,9		188	17			
	e....			2,1-2,2		110	tr			
Gerzat	3001 *a*....	pré-verger	sol	0,4-0,6	7,6	613	tr	38,8	3,38	11,5
	b....			0,8-1,1	7,4	688	tr	21,5	1,45	14,8
	c....		sables	1,4-1,8		536	0			
	d....			2,4-2,9		332	154			
	e....			3,0-3,3		175	78			
Pont-du-Château	3098 *a*....	cultures		0,0-0,4	8,0	485	16	26,1	2,22	11,7
	b....		sol	0,5-0,7	8,45	571	60	13,2	1,21	10,9
	c....			0,8-1,2	8,7	714	21	14,6	0,99	14,7
	d....		sables	1,3-1,6		317	143			
	e....		limon	2,2-2,6		407	466			
	f....			2,8-3,1		418	550			

TABLEAU 13

Analyses du complexe absorbant des sols des Martres-d'Artières (en m val. p. 100 g de terre fine sèche)

	Capacité d'échange à pH 7 (T)	Ca	K	Mg	Total (S)	Taux de saturation à pH 7 $\left(\frac{S}{T} \times 100\right)$
2500 *a*	43,2	34,8	1,5	5,0	41,3	96
2501 *a*	13,0	8,3	1,1	2,8	12,2	94

Ainsi, la présence à faible profondeur d'un substratum limoneux, compact et imperméable, confère à ce profil les caractères des sols formés sur les marno-calcaires.

2) Les sols sur alluvions modernes

Nous considérons comme alluvions modernes les dépôts les plus récents sur lesquels coulent les talwegs actuels et qui sont malheureusement rarement indiqués sur la dernière édition de la Carte Géologique de Clermont.

Au contraire des sols sur terrasses anciennes, les sols de la plaine qui reposent sur les alluvions modernes conservent toujours l'apparence de sols argileux et se distinguent seulement des autres sols de la plaine par la présence d'une composante sableuse de nature siliceuse généralement bien représentée. C'est ce que montrent les profils suivants.

a) *Morphologie des profils*

Clermont-Ferrand 3048 : (X = 662,5 ; Y = 86,7, Alt. = 339 m.)

Localisation géographique : plafond alluvial de l'Artières, à 100 m sur la rive gauche, au pied du puy de Crouelle.

Caractères topographiques : pente : 0,6 p. 100 vers le nord-est.

Végétation : cultures annuelles.

Description du profil :

0,0-1,5 m : sol argilo-calcaire devenant progressivement sableux vers la base ; structure nuciforme puis polyédrique, surtructure prismatique au-dessous de 0,6 m.
1,5-4,4 : lits sableux noirs rougeâtres de texture relativement homogène et de nature essentiellement volcanique.
4,4-5,0 : limon beige décarbonaté avec particules de micas dorés.
5,0-6,4 et plus : sables et graviers essentiellement feldspathiques.

La nappe phréatique oscille dans les sables volcaniques.

***

Gerzat 3001 : (X = 663,6 ; Y = 92,8 ; Alt. = 320 m.)

Localisation géographique : plafond alluvial entre les deux bras du Bédat, au nord du bourg.

Caractères topographiques : pente : 0,3 p. 100 vers le nord-est.

Végétation : pré-verger.

Description du profil :

0,0-0,3 m : sol argileux noir ; structure nuciforme.
0,3-0,6 : sol argileux noir ; structure polyédrique.
0,6-1,35 : sol argileux noir comme l'encre ; structure prismatique ayant tendance à devenir massive sous l'effet de la nappe phréatique.

1,35-1,9 : sables fins mêlés de sol argileux, bleu verdâtre.
1,9-6,8 : lits de sables, de texture généralement très fine, parfois grossière, toujours de couleur bleue verdâtre ; nature volcanique très nettement dominante.
6,8-7,2 et plus : limon argilo-calcaire bleuâtre.
La nappe phréatique oscille de part et d'autre du contact sol/sables.

***

Pont-du-Château 3098 : (X = 668,0 ; Y = 89,4 ; Alt. = 319 m.)

Localisation géographique : plafond alluvial de l'Artières, rive gauche au nord de la ferme du Temple.

Caractères topographiques : pente : 0,15 p. 100 vers le nord.

Végétation : cultures annuelles.

Description du profil :

0,0-1,2 m : sol brun foncé, argileux, décarbonaté en surface et noir en profondeur ; structure nuciforme à polyédrique ; surstructure prismatique.
1,2-1,85 : sables fins volcaniques enrobés de calcaire.
1,85-3,1 et plus : limon argilo-calcaire gris clair.

b) *Résultats analytiques*

Ils sont réunis sur le tableau 12 (Analyses chimiques) et sur la figure 17 (Granulométrie).

c) *Interprétation*

La granulométrie montre que ces 3 profils comprennent effectivement un sol argileux et faiblement carbonaté reposant directement sur des sables.

Le profil 3048 de Clermont est situé le plus en amont, à 10 km seulement du point où l'Artières sort du support cristallin de la Chaîne des Puys. Il provient d'une zone affectée par les débordements de l'Artières consécutifs à de violentes pluies sur les Monts Dômes. Grâce aux travaux récents de canalisation du cours, de telles inondations sont devenues plus rares si bien que la composante colluviale argilo-calcaire a pris progressivement une place plus importante qui explique l'augmentation du bas vers le haut des colloïdes argileux, de la capacité de rétention et du calcaire. Les polygones de fréquence attestent cette évolution ainsi que l'existence de plusieurs phases granulométriques.

Le profil 3001 de Gerzat est un peu plus éloigné — 12 km environ de la ligne de faille occidentale de la Limagne ; la pente longitudinale du sol n'est plus que de 0,3 p. 100. Le sol présente à peu près la même distribution granulométrique sur toute son épaisseur avec une faible composante sableuse, tout à fait comparable aux sols formés sur substratum argilo-calcaire. Il s'agit d'un sol colluvionné, amené des croupes latérales par le ruissellement diffus et déposé sur les alluvions modernes du

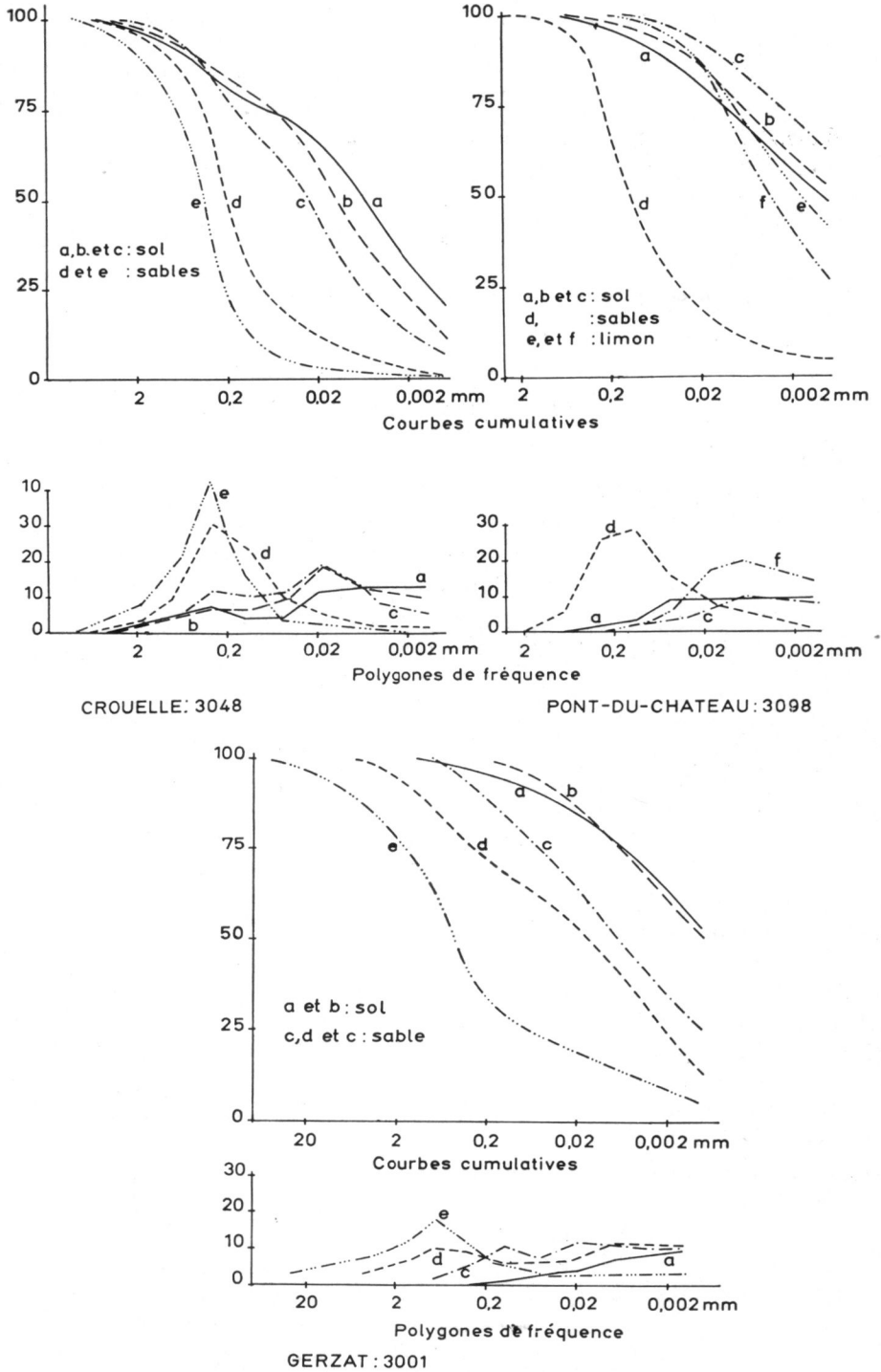


FIG. 17. — *Granulométrie des sols sur alluvions modernes*

Bédat recouvertes ici par une formation intermédiaire de nature surtout argileuse et calcaire donc limoneuse.

Le long du cours de l'Artières, le profil 3098 de Pont-du-Château est à 20 km du territoire cristallin sur un plafond alluvial presque plat où ne se font plus beaucoup sentir les crues de la rivière alimentées depuis la Chaîne des Puys. Le sol se présente sous l'aspect d'un profil inversé, plus argileux à la base qu'au sommet, semblable à ceux des sols de piémont. Les carbonates du sol ont été partiellement entraînés par les eaux de drainage et ont recristallisé au niveau des sables, mieux aérés, dont ils ont ainsi masqué la teinte noire consécutive à leur nature volcanique. Là encore, le contraste entre sol et substratum et l'absence de transition indiquent qu'il s'agit d'un sol argilo-calcaire colluvionné postérieurement au dépôt des sables.

CHAPITRE VII

ÉTUDE DE PROFILS PARTICULIERS

En plus des profils caractéristiques que nous venons de décrire, il existe en Limagne des formations dont la présence dans certaines situations topographiques ne peut pas s'expliquer par des transports colluviaux ou alluviaux ou par évolution sur place en ce qui concerne les sols.

Ainsi, comme nous l'avons signalé dès le début du chapitre consacré aux sols sur alluvions anciennes, on rencontre sur des terrasses totalement déchaussées, des sols argileux, de couleur foncée, très comparables aux sols argilo-calcaires de la plaine et des pentes. L'étude de la mise en place de tels sols constitue le premier objet de ce chapitre.

D'autre part, on trouve aussi en Limagne des profils de sols argilo-calcaires sur des sables volcaniques tout à fait semblables à ceux qui existent sur les alluvions modernes. Mais la position topographique de ces sables interdit d'en faire des dépôts alluviaux transportés depuis la Chaîne des Puys par les rivières limagnaises. La deuxième partie de ce chapitre est consacrée à ce problème.

A. — Les sols argileux sur terrasses anciennes déchaussées

1°) Localisation

On trouve des sols argileux superposés à des sables sur quelques terrasses anciennes de l'Allier, et seulement sur la rive gauche à notre connaissance. Par exemple, entre Lempdes et Pont-du-Château et sur la terrasse de 30-35 m de Joze. Mais ces nappes ne sont pas toujours entièrement déchaussées pour qu'on puisse éliminer sans aucun doute la possibilité d'apports colluviaux argilo-calcaires.

Quelques terrasses anciennes de la Morge portent aussi des sols noirs argileux, principalement sur leurs bords sud et sud-ouest. La prospection permet de constater que, sur la même nappe alluviale, les sols argileux passent latéralement et sans aucune discontinuité à des sols d'alluvions typiques. C'est le cas de la terrasse déposée par la Morge entre Aubiat et Saint-Clément-de-Régnat qui nous sert d'exemple.

2°) Comparaison de deux profils de la terrasse de Saint-Clément-de-Régnat

Nous comparons deux profils dont l'un (2920) comprend un sol argileux foncé et l'autre (3142) un sol sableux, prélevés sur la même terrasse ancienne à 1 200 m de distance.

a) *Morphologie des profils*

Saint-Clément-de-Régnat 2920 : (X = 674,7 ; Y = 110,9 ; Alt. = 338 m.)

Localisation géographique : carrière à 200 m au sud des Varennes de Saint-Clément ; profil signalé par M. DERRUAU (1949 *a*).

Caractères topographiques : extrémité sud et est de la terrasse a^{1c} de la Morge.

Végétation : talus sur l'emplacement d'anciennes parcelles cultivées.

Description du profil :

0,0-0,4 m : sol brun foncé argileux, décarbonaté ; structure grumeleuse devenant nuciforme à la base.

0,4-0,6 : base du sol, argileuse, surchargée de galets quartzeux, où s'accumulent les carbonates entraînés.

0,6-1,5 : lits sableux interstratifiés de calibres variables, présence de quelques lentilles de limon.

Les grosses racines des plantes à rosette s'enfoncent jusque dans les sables et leurs traces sont jalonnées par des dépôts de carbonates et de produits organiques.

***

Saint-Clément-de-Régnat 3142 : (X = 673,9 ; Y = 111,0 ; Alt. = 331 m.)

Localisation géographique : carrières au nord-est de Cresneuil.

Caractères topographiques : axe de la terrasse a^{1c} de la Morge.

Végétation : friche herbeuse.

Description du profil :

0,0-0,2 m : sol sablo-argileux, humifère ; structure grumeleuse assez faible.

0,2-0,5 : horizons d'accumulation du fer et de l'argile ; structure polyédrique dont les éléments ont des parois rendues luisantes par les enduits argileux. Tendance à la gleyification.

0,5-0,6 : horizon de transition entre le sol et le substratum ; sables et graviers enduits de colloïdes argileux.

b) *Résultats analytiques*

Les tableaux 14 et 15 et la figure 18 rassemblent les résultats comparés de ces deux profils. Nous n'y avons pas fait figurer ceux du fractionnement des matières organiques parce qu'ils sont peu différents d'un profil à l'autre.

c) *Interprétation*

La granulométrie indique la composition homogène du substratum sableux, 2920 *d* correspondant à peu près à 3142 *f*. Ces alluvions comprennent plusieurs phases distinctes ; des parties fines, des sables grossiers de calibre compris entre

0,2 et 2 mm et une charge de galets de dimensions supérieures à 20 mm. Cette dernière fraction se trouve en proportions variables qui gênent les comparaisons, principalement au profil 3142 pour lequel nous avons dressé les courbes granulométriques partielles se rapportant à la terre fine.

TABLEAU 14

Analyses chimiques de profils particuliers

Référence	Végétation	Nature des horizons	Profondeur en mètres	P. 1 000 de terre fine sèche						
				pH	C. R	CO_3Ca	C	N	C/N	fer libre (Fe_2O_3)
Sols de Saint-Clément-de-Régnat										
2920 *a*	friche		0,1-0,2	7,4	328	0	15,7	1,67	9,3	1,60
b		sol	0,3-0,35	7,1	302	0	11,5	1,11	10,4	1,67
c			0,45-0,55	8,05	304	130	9,0	0,78	11,5	1,20
d		sables	0,6-0,7		94	35				
3142 *a*	pelouse		0,0-0,1	6,2	225	0	16,9	1,77	9,6	1,28
b		sol	0,2-0,25	6,6	225	0	7,7	0,92	8,4	1,76
c			0,35-0,45	7,0	350	0	5,2	0,68	7,7	2,12
d		transition	0,50-0,55	7,1	247	0	2,1	0,29	7,1	1,56
e		sables	0,85-0,95		157	0				
f			1,35-1,45		114	0				
Sols de Lignat										
2503		transport éolien		7,3	357	tr	26,3	2,24	11,8	
2504		sol	0,0-0,1	6,7	293	0	17,8	1,43	12,4	
2505		sol	0,0-0,15	6,5	285	0	18,2	1,54	11,8	

TABLEAU 15

Analyses du complexe absorbant (en m val. p. 100 g de terre fine sèche)

	Capacité d'échange à pH 7 (T)	Ca	K	Mg	Total (S)	Taux de saturation à pH 7 $\left(\frac{S}{T} \times 100\right)$
2920 *a*	33,5	27,6	1,3	3,0	31,9	95
b	34,9	28,7	1,3	2,8	32,8	94
c	24,2	23,0	3,2	0,8	27,0	112
3142 *a*	16,7	10,8	0,3	1,5	12,6	75
b	17,1	11,8	0,3	1,7	13,8	81
c	27,8	19,2	0,4	2,1	21,7	78
d	22,6	15,8	0,3	1,9	18,0	80
2503.....	55,6	47,8	2,0	7,5	57,3	103
2504.....	37,6	26,6	1,7	4,4	32,7	87
2505.....	38,0	25,6	0,9	5,4	31,9	84

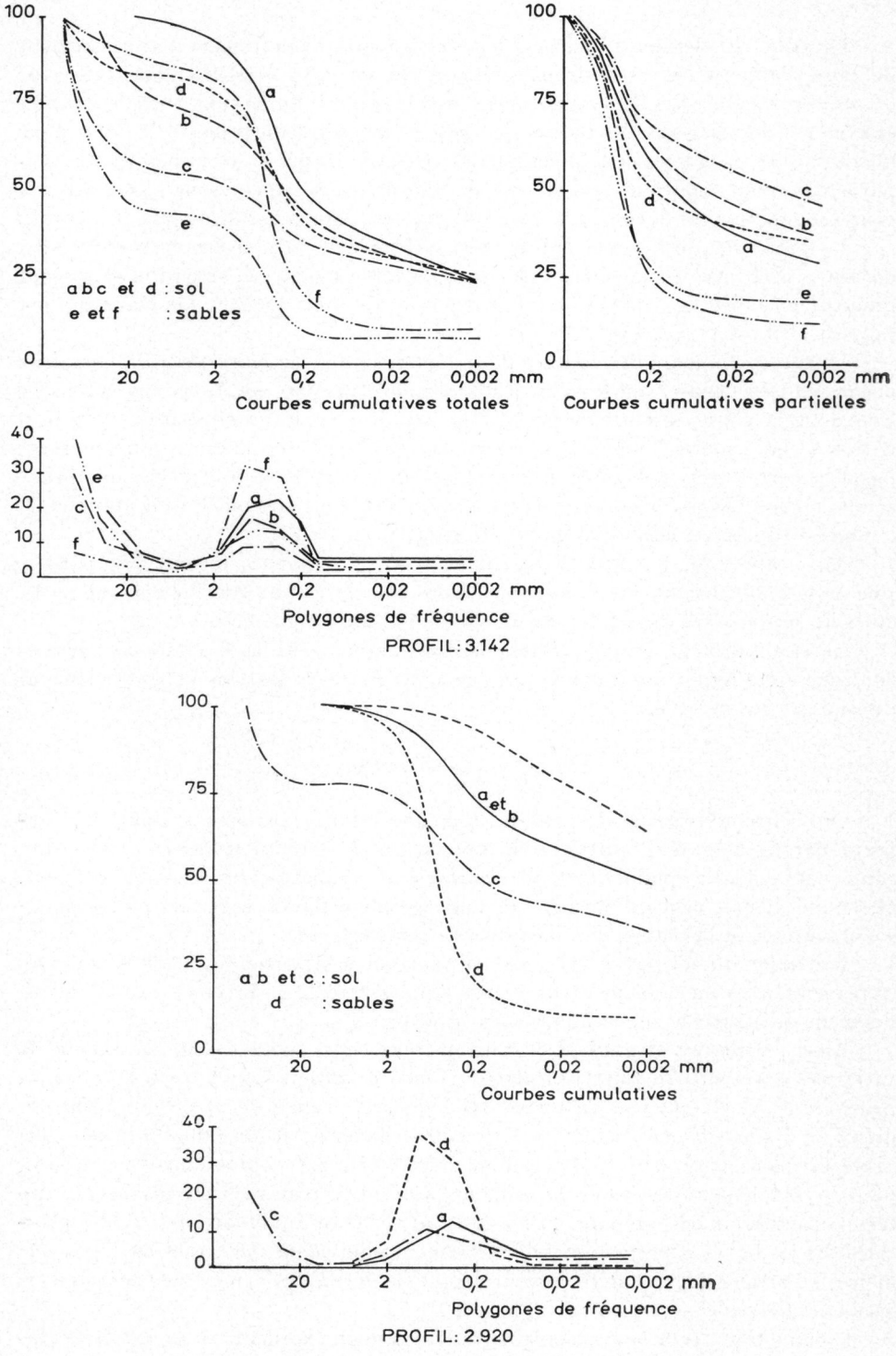


FIG. 18. — *Granulométrie des profils de Saint-Clément-de-Régnat*

Grâce à ces dernières courbes, on voit apparaître nettement l'accroissement du taux d'argile dans les horizons inférieurs du sol 3142. Parallèlement, la teneur en fer libre va croissant. Les rapports des taux d'argile et du fer libre entre le niveau *c* et le niveau *a* fournissent des indices de lessivage respectivement de 1,67 et 1,66, donc identiques, compte tenu de la précision des analyses. Le pH et les caractères du complexe absorbant montrent que le sol s'acidifie progressivement sous l'influence des composés organiques de la litière. Ce profil 3142 est donc un sol brun lessivé typique.

Le profil 2920 est également soumis au lessivage puisque les carbonates sont entraînés à la base du sol mais le sol possède une capacité de rétention et surtout un complexe absorbant plus élevé et presque saturé qui retardent son évolution par rapport au profil précédent.

L'examen comparé des courbes granulométrique et des caractères du complexe absorbant laisse penser que le sol 2920 diffère du sol 3142 par l'addition d'une surcharge fine dont la constitution serait celle d'un sol argilo-calcaire de la plaine. On peut calculer, par exemple, que la granulométrie de *a* est la résultante d'un mélange formé à partir de 1/3 du sable *d* et de 2/3 d'un sol argileux dont la granulométrie serait représentée par la courbe en pointillé. Or cette dernière distribution granulométrique est tout à fait celle d'un sol de plaine peu carbonaté.

Ainsi, après M. DERRUAU (1949 *a*), nous sommes amené à formuler l'hypothèse que de tels sols doivent leurs caractères à des transports par voie éolienne de particules de sols érodées dans la plaine et sur les versants argilo-calcaires.

La localisation géographique des sols noirs argileux sur les terrasses déchaussées confirme cette hypothèse, puisque, en Limagne, les vents les plus violents viennent du sud et du sud-ouest.

3°) *La déflation éolienne*

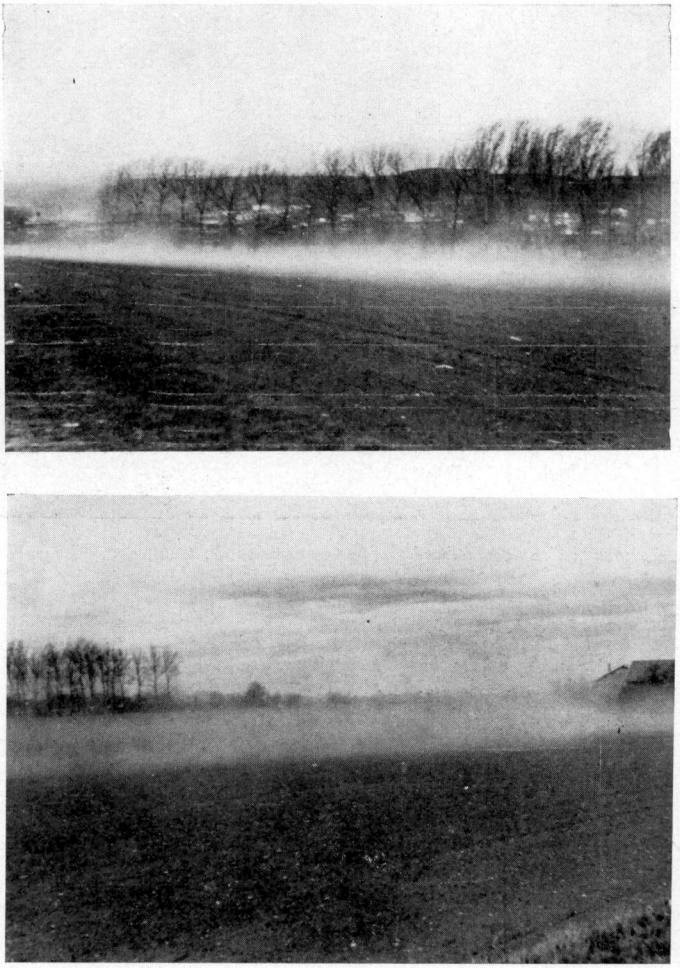
Or, l'érosion éolienne des sols de Limagne est un phénomène commun, rapporté par de nombreux auteurs. On prétend que les nombreuses haies qui entrecoupaient jadis la plaine étaient destinées à combattre les méfaits du vent. M. DERRUAU fait part de plusieurs témoignages de déflation éolienne : poussières de sol obscurcissant la plaine, déplacements de semences, etc.

L'attaque du sol par le vent survient surtout à la sortie de l'hiver lorsque les terres sont nues ou faiblement protégées par les céréales d'hiver et que le sol est finement divisé par le gel en minuscules agrégats.

Ainsi, en février et avril 1956, puis en mars 1962, nous avons été témoin de véritables « tempêtes de terre » qui nous ont fourni la matière des photos de la figure 19. Nous avons vu des nuages de poussières s'élevant jusqu'à 50 m. et plus au-dessus du sol, et d'une telle densité que les bâtiments de la ferme de Marmillat n'étaient plus visibles de la route N 89, soit à 600 m de distance. Ces tempêtes provoquent en quelques jours le comblement des fossés. Lorsque des semis de céréales ont été réalisés sur des terres insuffisamment préparées, on assiste au déchaussement de 3 à 4 cm des plantules sur les lignes « hautes » et à l'enterrement équivalent des lignes en creux. De même, à l'arrière des obstacles, le vent dépose de véritables « congères » de terre sous lesquelles les semis sont ensevelis (photo 4).

Comme tout agent de transport, le vent réalise un excellent triage des particules qu'il déplace ; les analyses granulométriques pratiquées sur trois sédiments éoliens

FIG. 19. — *Érosion éolienne des sols en Limagne*



Photos 1 et 2. — *Nuages de terre sur labours d'automne* (*Mon Désir*, 30/3/1962)

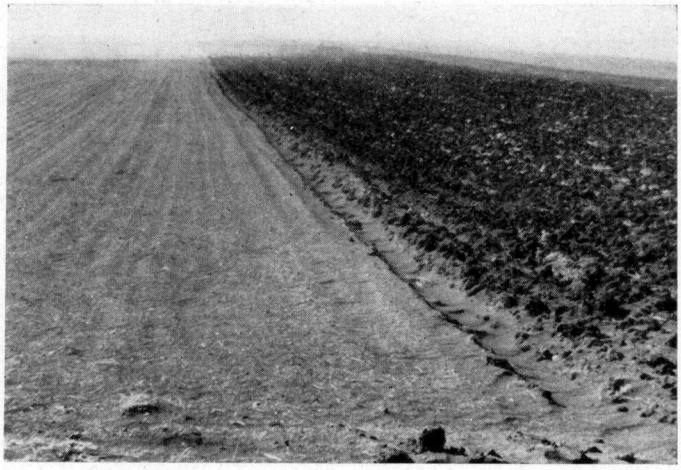


Photo 3. — *Effets comparés sur labour d'automne* (*à g.*) *et labour de printemps* (*à dr.*) (*Malintrat*, 30/3/1962

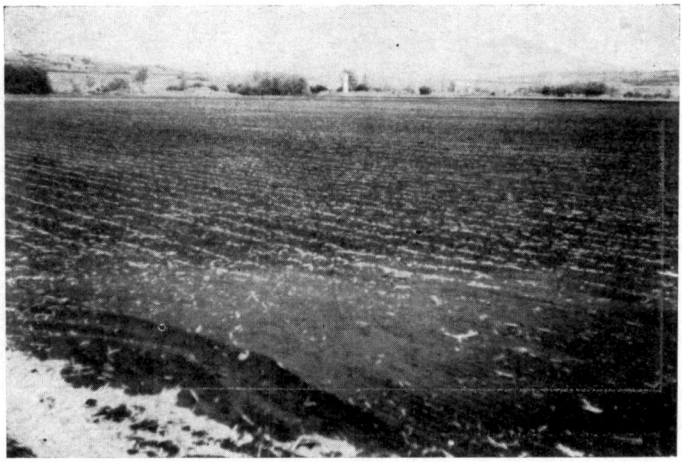


Photo 4. — *Accumulation de sol à l'arrière d'une meule de paille, ayant enseveli les jeunes betteraves (Malintrat, 12/5/1956)*

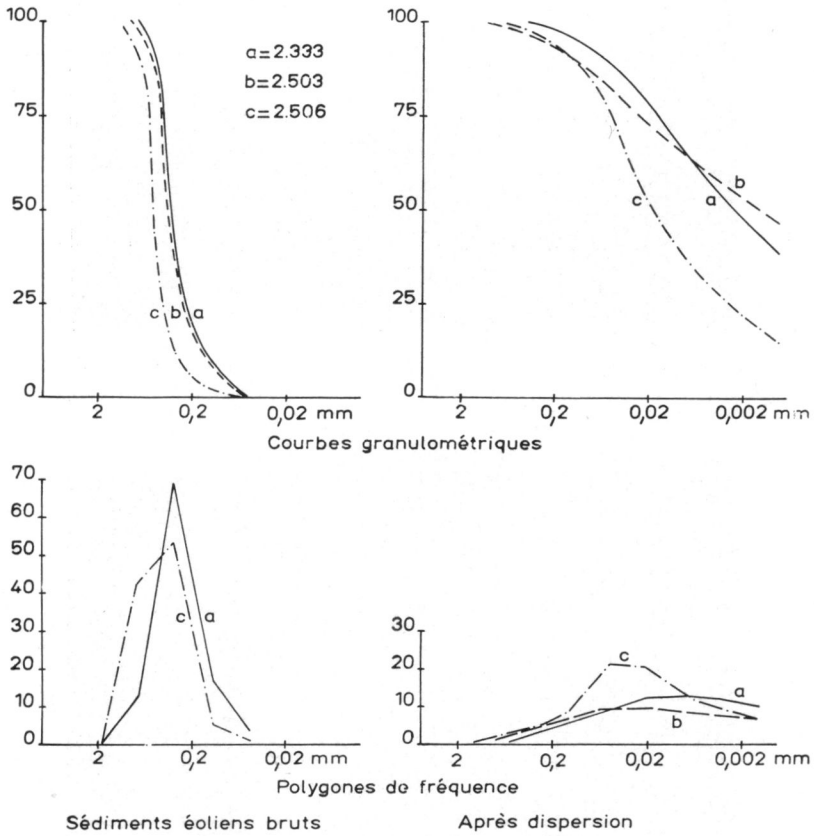


FIG. 20. — *Granulométrie de sédiments éoliens*

récoltés en Limagne le prouvent (fig. 20). Nous avons prélevé l'échantillon 2333 dans le fossé de la route de Clermont à Cournon (X = 664,3 ; Y = 83,7 ; Alt. = 372 m.) ; le nº 2506 à Malintrat, dans le fossé de la route de Lussat à Lempdes (X = 667,9 ; Y = 91,2 ; Alt. = 325 m), enfin, le troisième, 2503, à Lignat sur la terrasse de 60—65 m de l'Allier (X = 671,6 ; Y = 93,8 ; Alt. = 370 m).

Le transport s'effectue sous forme de particules terreuses dont les dimensions sont comprises entre 0,08 et 0,8 mm. La distribution granulométrique est légèrement asymétrique vers les parties fines par suite de la fragmentation des agrégats au cours du tamisage à sec.

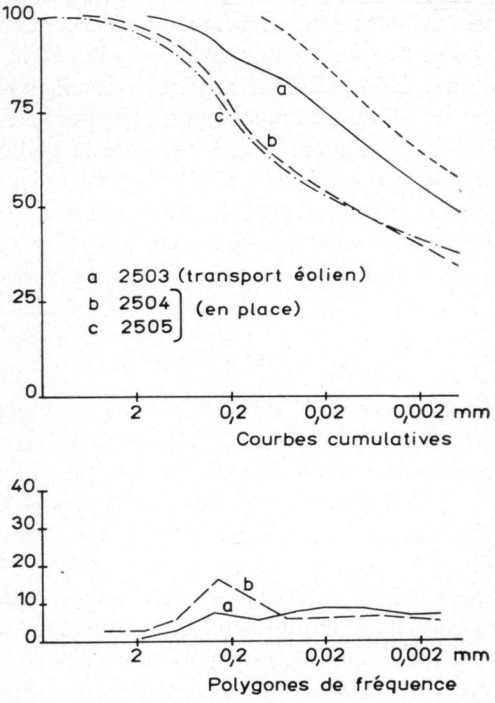


FIG. 21. — *Granulométrie des sols de la terrasse de Lignat*

Nos prélèvements représentent les plus grossiers des sédiments éoliens ; ils se sont déplacés surtout par saltation au-dessus du sol. Des observations nous ont, en effet, permis de constater que les poussières soulevées de plusieurs mètres sont plus fines. Les analyses pratiquées après dispersion des terres prouvent que la déflation éolienne se produit quelle que soit la richesse en colloïdes ; ce qui paraissait évident à priori puisque le sol se trouve naturellement à l'état d'agrégats et non de particules dispersées.

En présence de tels phénomènes éoliens, il devient évident d'admettre que des particules terreuses érodées dans la plaine soient transportée à plusieurs kilomètres de distance et jusque sur les reliefs voisins. Sur les coteaux, ces transports sont impossibles à déceler puisque les sols possèdent des caractères peu différents ; mais ce n'est pas le cas des terrasses, comme nous l'avons montré avec les exemples de Saint-Clément-de-Régnat.

Disposant d'un échantillon de sédiment éolien (2503) recueilli sur la terrasse de Lignat, nous avons procédé à quelques comparaisons avec les sols de cette nappe alluviale (2504 et 2505). Le sol transporté se trouvait à l'état d'agrégats foncés et secs ; il recouvrait la terre fraîchement remuée des trous de plantation de jeunes noyers dans une parcelle enherbée. Les résultats analytiques sont portés aux tableaux 14 et 15 et à la figure 21.

Les caractères du complexe absorbant distinguent nettement le sol transporté des échantillons prélevés sur place. La plus grande richesse en cations échangeables, surtout Ca et Mg, et la saturation du complexe indiquent bien une filiation génétique avec les sols argilo-calcaires. Cette relation est confirmée par la granulométrie dont la courbe *a* pourrait être la résultante d'un mélange s'effectuant sur la base de 42 p. 100 de sol du type *b* et 50 p. 100 de produit distribué suivant la courbe en pointillé, comparable à celle d'un sol de plaine décarbonaté. Car il faut bien admettre que si l'échantillon 2503 est un sédiment apporté par les vents peu de temps avant son prélèvement, il peut avoir été alimenté par les sols de la plaine mais aussi par les sols nus de la terrasse elle-même, d'où la résultante observée. De plus, ces phénomènes s'exercent de longue date et tendent ainsi progressivement à uniformiser les caractères des sols ; il est donc probable que les sols 2504 et 2505 doivent également une partie de leurs colloïdes argileux à des apports éoliens antérieurs.

4°) Conclusions

Depuis qu'ils sont labourés par l'Homme, les sols de Limagne sont sensibles à l'érosion éolienne qui a pour effet de brasser les agrégats fragmentés par le gel de l'hiver et d'atténuer ainsi les différences originelles qui pouvaient exister entre les différents sols. Ce mouvement tangentiel des particules terreuses s'exerce principalement suivant la direction sud-ouest à nord-est ; mais aussi selon une composante ascendante.

Le transport éolien est donc un phénomène complémentaire, et parfois de sens opposé, aux transports colluviaux et alluviaux qui s'effectuent suivant la pesanteur. Les sols de Limagne sont ainsi soumis à des forces multiples qui expliquent la variété et la complexité des rapports entre des diverses formations superficielles.

B. — Les sables volcaniques localisés hors du périmètre des alluvions modernes

L'étude des sols qui reposent sur les alluvions les plus basses de la Limagne a souligné la texture fine, homogène et la nature volcanique des sables composant ces dépôts. Ces constatations n'ont rien de surprenant puisque le bassin d'alimentation des rivières limagnaises mord largement sur la Chaîne des Puys, aux formations scoriacées abondantes.

1°) Localisation

Il en va autrement lorsqu'on découvre la présence de sables apparemment identiques dans des positions hautes au-dessus de la plaine, en des points où est inconcevable le transport par voie fluviale de matériaux provenant des Monts Dômes.

Ainsi, nous avons connaissance de sables volcaniques sous-jacents aux sols sur les coteaux de Chamalières, entre l'avenue Claussat et le boulevard Thermal, ou inclus dans les limons colluviaux sur les versants orientaux du puy de Montaudou, par exemple avenue de la Libération à Clermont. Les fondations d'immeubles permettent de constater que ces sables sont le plus souvent rassemblés en vastes poches et présentent parfois des traces de stratification ; qu'ils servent de drain aux eaux infiltrées, en raison de l'imperméabilité des marnes ou des limons qui les supportent.

Des sables analogues existent au fond des vallons aujourd'hui inactifs qui sillonnent, à Lempdes, les coteaux nord des puys de Banne et d'Anzelle ; également dans la gouttière qui, à l'ouest et à leur pied, longe les terrasses de l'Allier de Lempdes jusqu'à Cormède.

Tous ces derniers emplacements possèdent comme caractère commun d'être situés sur les artères du ruissellement concentré des versants limagnais sans qu'ait pu exister une liaison directe avec la Chaîne des Puys. Dans chacun d'eux les sables sont intercalés entre les limons et les sols ; quelquefois, certains lits sont inclus dans les limons, tout à fait à leur sommet. Parmi les formations meubles superficielles, ils occupent donc la même position stratigraphique que les alluvions les plus basses de Limagne.

TABLEAU 16

Analyses chimiques du profil 3 121 de Lempdes (p. 1000 de terre fine sèche)

Référence	Nature des horizons	Profondeur en mètres	pH	C. R.	CO_3Ca	C	N	C/N
3121 *a*	sol	0,0-0,4	8,1	471	103	16,2	1,49	10,9
b		0,4-0,6	8,3	535	127	12,2	1,06	11,5
c		0,7-1,2		251	370			
d	sables	1,2-1,3		184	217			
e		1,3-1,55		100	69			
		1,55-1,6		97	42			
f	limon	1,6-1,8		337	403			

2°) DESCRIPTION

A titre d'exemple, nous avons retenu le profil 3121 de Lempdes situé au pied de la terrasse de 60 m de l'Allier, au lieu-dit les Gibaudonnes (X = 668, 2 ; Y = 87,0 ; Alt. = 335 m), qui comprend :

— de 0,0 à 0,6 m : un sol argileux, brun foncé, à structure nuciforme à polyédrique avec structure prismatique en profondeur.
— de 0,6 à 0,7 : transition.
— de 0,7 à 1,6 : des sables fins de nature volcanique, beiges et pulvérulents car enrobés de calcite à la partie supérieure, nettement noirs à la base.
à plus de 1,6 : un limon argilo-calcaire à structure massive.

Les caractères analytiques de ces différentes couches font l'objet du tableau 16 et de la figure 22.

Nous y retrouvons la disposition de profil et les caractères mis en évidence dans l'étude des sols argileux sur substratum sableux : contraste granulométrique opposant le sol et son support ; accumulation des carbonates au sommet des sables.

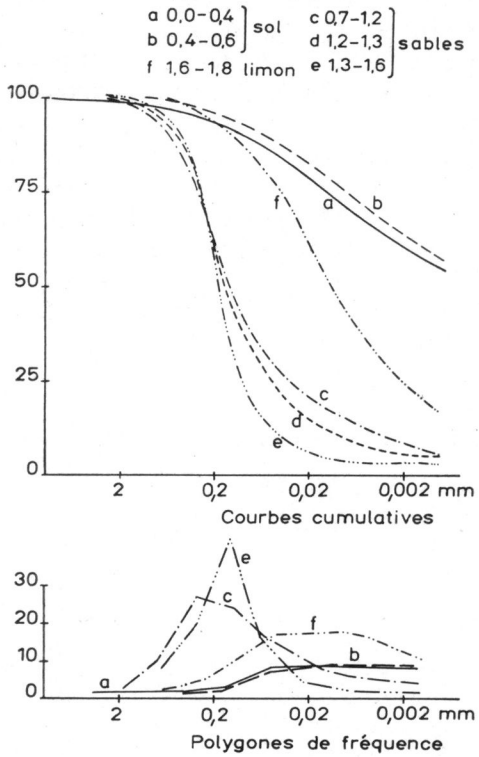


FIG. 22. — *Granulométrie du profil* 3121 *de Lempdes*

3°) EXAMEN MINÉRALOGIQUE

Les sables grossiers examinés à la loupe binoculaire comme les sables fins et très fins observés au microscope polarisant confirment la présence très nettement prédominante de particules vitreuses, bulleuses et caverneuses, noires ou grises, parfois rougeâtres, aux contours difformes et aux angles faiblement arrondis. Indiscutablement, il s'agit de très petites scories, de projections cendreuses suivant la terminologie granulométrique des roches pyroclastiques (J. JUNG, 1958).

Nous avons également rencontré, dans les fractions les plus fines seulement, quelques grains peu réfringents et non colorés, en forme de poire ou de petites baguettes, analogues à ceux décrits en 1936 par P. DELAUNAY dans son travail sur les sols limagnais. L'allure et la nature de ces particules nous conduit à admettre, à la suite de P. DELAUNAY, qu'elles représentent *des larmes et cheveux de Pelée,* c'est-à-dire des

fragments de laves fondues qui se sont solidifiées au cours de leur projection dans l'atmosphère. La rare présence de tels grains dans la masse des cendres ne paraît pas surprenante puisque l'on s'accorde à dire que les *larmes et cheveux de Pelée* accompagnent les projections résultant d'éruptions de type hawaïen, lesquelles sont inconnues dans la Chaîne des Puys. Les quelques exemples observés proviendraient plutôt de laves suffisamment fluides projetées dans l'atmosphère lors des phases stromboliennes qu'ont connues un grand nombre de volcans des Monts Dômes.

A côté de ces grains à structure vitreuse, on distingue également, en proportions diverses, des quartz, des feldspaths, de la calcite et un cortège de minéraux colorés parmi lesquels l'augite est la plus fréquente. Ces éléments hétérogènes attestent une fois encore la pluralité des origines du substratum sableux.

4°) Analyse totale

Frappé par l'homogénéité apparente de ces sables volcaniques, nous avons soumis à l'analyse totale 3 échantillons prélevés en position haute que nous avons comparés à 8 autres provenant, au contraire, des alluvions modernes des rivières limagnaises. La localisation exacte de nos prélèvements est la suivante :

Pour les sables en position haute (1) :

1. — Lempdes (le lit de base du profil 3121 précédemment défini) ;
2. — Pont-du-Château, à l'ouest et au pied de la terrasse a^{1b} de l'Allier (X = 668,5 ; Y = 89,6 ; Alt. = 322 m).
3. — Chamalières, à flanc de coteau (X = 656,4 ; Y = 87,1 ; Alt. = 443 m).

Pour les sables en position basse :

4 et 5. — le marais de Sarlième (X = 663,2 ; Y = 83,0 ; Alt. = 344 m).

6 et 7. — le cours de l'Artières à Crouelle (X = 662,5 ; Y = 86,7 ; Alt. = 339 m).

8. — le cours de l'Artières à Marmillat (X = 665,5 ; Y = 87,7 ; Alt. = 324 m).

9. — le cours de l'Artières à Pont-du-Château (X = 668,0 ; Y = 89,5 ; Alt. = 320 m).

10 et 11. — le cours du Bédat à Gerzat (X = 663,6 ; Y = 92,8 ; Alt. = 329 m).

Au cours des remaniements qui les ont affectés et même une fois définitivement en place, ces sédiments ont subi des altérations contribuant parfois à les priver d'une partie de leurs bases, entraînées par lessivage, ou d'autres fois, au contraire, à leur donner une charge argileuse et calcaire, soit par incorporation de limons, soit par apport de calcite provenant du sol sus-jacent. Pour cette dernière raison, nous avons pratiqué l'analyse des seules fractions supérieures à 0,05 mm après les avoir préalablement traitées à froid par ClH dilué au 1/10. Ce lavage à l'acide chlorhydrique destiné à détruire les carbonates ne semble pas avoir altéré sensiblement les constituants volcaniques ; en particulier, le fer solubilisé n'a été trouvé qu'à l'état de traces.

Les résultats analytiques sont portés au tableau 17. Pour les échantillons possédant une perte au feu élevée, nous avons déterminé complémentairement les matières organiques à partir du dosage du carbone. Pour les autres sables, nous avons assimilé la perte au feu à l'eau de constitution.

(1) Les cotes altimétriques indiquent le niveau du sol et non le niveau des sables.

5°) Interprétation

La granulométrie confirme qu'il s'agit de sables relativement fins, de diamètre compris principalement entre 0,5 et 0,05 mm. Les éléments de taille supérieure à 2 mm sont totalement absents dans les échantillons provenant des versants.

Ces sédiments sont assez bien triés par l'agent transporteur, mais le transport a été certainement bref en raison des angles peu émoussés des particules. L'intervention de l'eau nous paraît pourtant indiscutable puisque ces sables sont toujours localisés le long du tracé des artères du ruissellement, sur les coteaux et dans la plaine. Cependant, le tri constaté peut résulter aussi d'actions éoliennes préalables, si l'on admet l'hypothèse de projections volcaniques directes rassemblées ensuite par les eaux. Les éruptions actuelles, telles que celle du Paricutin au Mexique confirment le rôle du vent qui soulève les cendres et peut les transporter sur des distances appréciables et aussi celui du ruissellement qui entraîne et rassemble ces projections (H. et G. Termier, 1960).

L'analyse totale montre que la constitution des sables est relativement homogène. En particulier, les 3 échantillons prélevés en position haute présentent une très faible fluctuation qui confirme une origine sans doute commune et une mise en en place sans remaniements notables. Ils se trouvent parmi les moins acides de la série analysée, accusant tous un déficit de silice dans leur composition minéralogique virtuelle.

Avec des taux de SiO_2 compris entre 50,10 et 56,30 et des rapports $CaO \times 100/CaO + Na_2O + K_2O$ variant de 41,8 à 52,1, l'ensemble de ces sables s'inscrit dans l'association magmatique qui caractérise les roches volcaniques de la Chaîne des Puys, confirmant ainsi leur origine (J. Jung, 1958, p. 210).

Le calcul de la composition minéralogique virtuelle et des paramètres américains C. I. P. W. correspondants atteste également l'homogénéité des échantillons puisqu'ils répondent à la formule globale II.5.2-3.4. [2-3. 1-3. 1-2. 2-3], et possèdent un rapport Orthose/Plagioclases compris entre 0,246 et 0,294. Tous appartiennent à la subdivision des *roches sans excès ou déficit particulier de silice*, et à la famille des *plagioclasites leucocrates sodiques*. Suivant la classification de A. Lacroix (1933) complétée par R. Frey (1937), ce sont donc des *andésites* ou des *andésites noritiques*, selon la proportion des éléments ferro-magnésiens rapportés à la chaux feldspathisable. Le feldspath calco-sodique essentiel serait l'*andésine*. Certains sables (paramètre $r = 2(3)$ et (2) 3) ont une composition intermédiaire entre les trachytes et les andésites ; ce sont des trachy-andésites.

Les variations autour de ce type, pour faibles qu'elles soient, fournissent cependant des éléments d'interprétation. Dans les 3 nappes alluviales dont deux niveaux sont analysés, on observe à la fois une perte au feu et un excédent de silice virtuelle, plus élevés vers la surface. Ces constatations paraissent liées aux phénomènes d'altération qui auraient ainsi provoqué un début d'hydratation des minéraux (d'où la plus forte perte au feu) et le lessivage partiel des bases (d'où l'augmentation relative de la silice libre). L'échantillon n° 9 de Pont-du-Château présente au plus haut degré ces caractères (particulièrement une faible teneur en Na_2O) qui expliquerait la valeur singulière du paramètre r et aussi celle du rapport Orthose/Plagioclases supérieure à 0,29, limite conventionnelle adoptée pour séparer la famille calco-alcaline des plagioclasites. Nous pensons donc que la nature dacitique ($q = 4$) de ce sable prélevé dans les alluvions modernes à la plus grande distance de la Chaîne

des Puys ne correspond pas à sa composition chimique originelle, qui devait être andésitique, d'où la terminologie que nous lui avons attribuée.

L'altération partielle des sables en position basse semble tout à fait probable si l'on veut bien considérer qu'au cours de leur transport alluvial et depuis leur mise en place définitive ils ont été constamment baignés par des eaux riches en oxygène.

A partir de ces seules données chimiques, est-il possible de rapporter ces sables volcaniques à certaines éruptions récentes de la Chaîne des Puys ? Pour tenter de trouver une réponse à cette question, nous avons consulté le recueil de R. Brousse (1961) d'où nous avons extrait des analyses dont les taux de SiO_2 encadrent ceux des sables analysés et qui ont trait aux ultimes manifestations volcaniques. Nous les avons rassemblées dans le tableau 18 que nous avons complété par une analyse des projections les plus récentes du puy de Pariou prélevées par nous-même sur le rebord oriental et sommital du cratère.

L'examen comparé des deux tableaux 17 et 18 montre que les puys de la Vache et de Lassolas, le puy de Pariou, le puy de Côme, le puy de Mey, le puy de Louchadière et le puy de la Coquille ont terminé leur activité volcanique par l'émission de laves ou de projections de composition tout à fait voisine de celles des sables recueillis en Limagne en position haute. Ces constatations sont conformes aux conclusions de Y. Bentor (1954) suivant lesquelles l'activité volcanique de la Chaîne des Puys est caractérisée par une différenciation simple des magmas qui passent de compositions chimiques très basiques à des termes de plus en plus acides. Le stade ultime, donc le plus récent, est généralement représenté dans la partie centrale de la Chaîne par des andésites ou des trachy-andésites.

La faible teneur en FeO des projections scoriacées du Pariou semble anormale. Elle pourrait être la conséquence de phénomènes fumerolliens. On la retrouve, mais moins accusée, dans la lave issue du même volcan. Quant à la perte au feu élevée, elle traduirait l'altération subie par ces scories prélevées à 15 cm seulement de la surface du sol.

Il est intéressant de noter que dans le tableau 18 figurent les laves et projections supérieures du puy de Pariou et du puy de la Vache. Or, ces volcans sont parmi les plus jeunes de la Chaîne des Puys. Grâce aux mesures récentes de radiocarbone effectuées sur des bois calcinés (H. Pelletier et *al.* 1959), nous savons que les laves du puy de la Vache se sont épanchées il y a 7 650 (± 350) ans, et que la dernière éruption du Pariou daterait de 8 580 (± 350) ans (H. Pelletier et A. Rudel, 1958).

6°) Conclusions

La morphologie et la stratigraphie apportent des arguments complémentaires qui prouvent l'existence de retombées de projections scoriacées sur la partie sud-ouest de la Grande Limagne. La stratigraphie et l'analyse chimique permettent de croire que ces retombées sont contemporaines des dernières éruptions des Monts Dômes dont certaines datent de moins de 8 000 ans.

Ainsi, les sols argilo-calcaires de Limagne qui sont superposés aux sables volcaniques sur des étendues appréciables, se seraient formés après les dernières éruptions de la Chaîne des Puys. Leur transport sur les nappes d'alluvions modernes se serait produit beaucoup plus tard si l'on tient compte de la puissance des alluvions sableuses accumulées en particulier au débouché des talwegs dans la plaine, situation où se produit, il est vrai, la plus grande perte de charge des rivières.

Constitution chimique des

Origine	Sables en position haute		
	Lempdes	Pont-du-Château	Chamalière
Numéro d'ordre	1	2	3
SiO_2	51,10	52,40	50,10
Al_2O_3	19,20	18,50	18,80
Fe_2O_3	4,20	5,40	4,60
FeO	3,40	3,00	3,80
MgO	3,56	2,39	4,02
CaO	7,18	7,09	7,53
Na_2O	4,80	4,88	4,52
K_2O	2,51	2,57	2,40
TiO_2	1,90	1,70	2,00
P_2O_5	0,51	0,50	0,63
Perte au feu { Mat. org.	1,16	1,46	1,35
Perte au feu { H_2O			
Total	99,52	99,89	99,75
$\frac{CaO \times 100}{CaO + Na_2O + K_2O}$	44,6	48,7	52,1

Composition ré

(Analyses de Mlle J. DOPARIS, A. T. P. Ston agron. Clermont, sauf c

N° d'ordre	Paramètres américains C. I. P. W.					
	p.	*q.*	*r.*	*s.*	[*h.*	*k.*
1	II.	5.	3.	4.	[2 (3).	3.
2	II.	5.	'3.	4.	['3.	2.
3	II.	5.	3.	4.	[2 (3).	3.
4	II.	5.	'3.	4.	[2 (3).	1.
5	II.	5.	'3.	4.	[2 (3).	1.
6	'II.	(4) 5.	3.	4.	[3'.	1.
7	II.	'5.	(2) 3.	4.	[2'.	1.
8	'II.	5.	2 (3).	4.	[3.	(2) 3.
9	II.	4.	3.	'4.	[3'.	1.
10	'II.	'5.	'3.	4.	[3.	1.
11	II.	5.	(2) 3.	4.	[2.	1.

Composition minér

Sables en position basse

Sarlièvre		Crouelle		Marmillat	Pont-du-Château	Gerzat	
mmet	Base	Sommet	Niveau sous-jacent			Sommet	Base
4	5	6	7	8	9	10	11
55,0	53,70	54,90	56,00	54,20	54,80	55,40	56,30
8,00	18,20	17,80	16,10	18,90	17,60	17,90	17,80
4,50	4,50	6,35	4,15	3,80	6,80	4,25	2,15
2,00	2,80	2,20	3,30	2,35	1,50	2,20	3,30
2,62	3,11	2,20	2,80	2,81	2,99	1,80	3,40
7,01	6,88	5,50	6,42	5,98	4,76	5,17	5,91
4,59	4,52	3,85	4,31	5,32	3,03	4,45	4,82
2,52	2,59	2,31	2,52	2,97	2,32	2,73	2,81
1,50	1,80	1,60	1,70	1,70	1,60	1,60	1,50
0,37	0,44	0,55	0,50	0,48	0,38	0,54	0,44
1,87	1,26	0,28 2,50	1,97	1,21	0,53 4,73	2,99	1,03
9,98	99,80	100,04	99,77	99,72	100,64	99,84	99,46
9,6	49,2	47,2	48,3	42,0	47,0	41,8	43,3

M. S. à 105°C).
de FeO par E. GAMOT, Labor. Géologie et Minéralogie, Clermont.)

		$\frac{Or}{An + Ab}$	Terminologie (LACROIX, 1933)
l.	*m.*]		
2.	2 (3).]	0,254	Andésite andésinique β′
2.	′3.]	0,248	Andésite andésinique β′
2.	2 (3).]	0,250	Andésite andésinique β′
2.	2.]	0,246	Andésite andésinique α
2.	2′.]	0,255	Andésite andésinique α
1.	2 (3).]	0,246	Andésite noritique et andésinique α
2.	(2) 3.]	0,274	Andésite andésinique α
2.	2′.]	0,286	Trachy-andésite andésinique β′
1.	2.]	0,294	Andésite noritique et andésinique α
1.′	(2) 3.]	0,275	Andésite noritique et andésinique α
′2.	2 (3).]	0,281	Andésite andésinique α

et dénomination

TA

Constitution chimique de quelques

Origine	Coulée puys de la Vache et de Lassolas	Projections supérieures puy de Pariou	Coulée supérieure puy de Côme
N° d'ordre	12	13	14
SiO_2	50,40	50,80	51,40
Al_2O_3	16,30	19,20	17,50
Fe_2O_3	4,12	8,10	6,10
FeO	5,50	0,20	3,30
MgO	3,50	2,58	3,30
CaO	8,20	6,47	7,60
Na_2O	6,00	5,17	3,75
K_2O	2,10	2,50	3,10
TiO_2	1,80	1,80	2,90
P_2O_5	1,75	0,94	1,02
MnO	0,10	—	0,22
H_2O^+	0,30	2,76 (1)	0,27
H_2O^-	0,10		0,01
Total	100,17	100,52	100,47
$\frac{CaO \times 100}{CaO + Na_2O + K_2O}$	50,3	45,8	52,6
(1) Perte au feu	in S. AURIAT (1957)		

Composition ré

N° d'ordre	Paramètres américains C. I. P. W.					
	p.	*q.*	*r.*	*s.*	*h.*	*k.*
12	II.	5 (6).	2.	4.	2′.	2.
13	II.	5.	′3.	4.	3′.	3.
14	II.	5.	3.	3 (4).	3.	1.
15	II.	5.	3.	(3) 4.	3.	1.
16	II.	5.	3.	4.	3.	1.
17	II.	5.	3.	4.	3.	1.
18	II.	5.	2′.	4.	3′.	2.
19	′II.	′5.	2 (3).	3 (4).	(3) 4.	1.

Composition minér

8

iques de la Chaîne des Puys

Coulée supérieure puy de Mey	Projections supérieures puy de Louchadière	Projections supérieures puy de la Coquille	Coulée supérieure puy de Pariou	Coulé supérieure puy de la Nugeyre
15	16	17	18	19
51,60	51,72	51,98	54,69	57,48
17,80	17,13	17,02	18,16	17,61
6,00	3,55	3,60	5,71	4,71
3,40	5,74	5,60	1,79	2,19
3,10	3,08	3,52	1,99	2,06
7,40	7,37	7,14	5,68	4,50
3,80	3,92	4,06	5,25	4,25
3,10	2,60	2,39	3,28	3,99
2,70	3,09	3,14	2,31	1,91
1,02	1,35	1,47	0,71	0,97
0,22	0,20	0,17	0,17	0,23
0,00	0,30	0,00	0,19	0,06
0,02	0,06	0,06	0,03	0,00
100,16	100,11	100,15	99,96	99,96
51,8	53,1	52,5	40,0	35,3

in Y. BENTOR (1954)

M. S. à 105°C).

l.	*m.*]	$\frac{Or}{An + Ab}$	Terminologie (LACROIX, 1933)
2.	3.]	0,279	Andésite β′
2.	1.]	0,243	Andésite andésinique β′
2.	2 (3).]	0,342	Andésite β
2.	(2) 3.]	0,337	Andésite β
(1) 2.	3.]	0,28	Andésite β
1 (2).	3.]	0,26	Andésite noritique β
2.	2 (3).]	0,321	Trachyte à andésite β
1.	(2) 3.]	0,453	Doréite β à andésite noritique

e et dénomination.

CHAPITRE VIII

LES RELATIONS CHRONOLOGIQUES

Ainsi que nous l'avons exposé dans un chapitre précédent, les zones déprimées de la Limagne argilo-calcaire ont été remblayées, depuis le dernier creusement wurmien, par diverses formations : des limons colluviaux largement distribués en surface ; des alluvions sableuses localisées le long des artères du ruissellement organisé, qui passent latéralement à des vases dans les eaux calmes des lacs ; enfin, des sols de transport.

Suivant la situation topographique, certaines de ces formations stratigraphiques sont absentes. Mais le profil le plus fréquent comprend un limon argilo-calcaire intercalé entre le substratum géologique stampien et la couverture pédologique.

Si la position réciproque des diverses formations meubles de surface fournit les principales indications sur leurs rapports stratigraphiques, nous avons tenté de préciser l'âge de la mise en place de ces sédiments en ayant recours à l'analyse pollinique.

A. — L'analyse pollinique

Dans notre étude, nous avons utilisé la méthode de l'analyse pollinique dans le but d'établir des repères de chronologie relative et non pas suivant un concept purement botanique destiné à inventorier les paléoflores.

1°) Le concept stratigraphique de l'analyse pollinique

Pour parvenir à un tel objectif, l'interprétation de l'analyse pollinique repose sur quelques principes fondamentaux, établis en particulier par G. Lagerheim, L. Von Post, G. Firbas, K. Faegri, J. Iversen, principes que nous pensons utile d'énumérer.

— Les pollens anémophiles sont si bien brassés par le vent qu'ils retombent sur le sol suivant une *distribution homogène*. Ce caractère autorise l'application des méthodes statistiques pour déterminer la composition de la *pluie pollinique* tombée sur le sol à un instant donné. La transcription en pourcentages des pollens inventoriés aboutit au *spectre pollinique* de l'échantillon analysé. Les pollens anémophiles fournissent ainsi des indications écologiques concernant un périmètre étendu tandis que les pollens entomophiles ont surtout une valeur locale. Il en va de même pour les pollens forestiers plus facilement dispersés par le vent que les pollens de plantes herbacées dont les fleurs se trouvent à proximité de la surface du sol.

Le problème de la dispersion du pollen a fait naître des opinions souvent contradictoires. Si les grains de pollen sont susceptibles d'être transportés sur de très grandes distances, il semble que, de plus en plus, les palynologues admettent une dispersion relativement limitée, de l'ordre du kilomètre pour le pollen des espèces herbacées et de 10 km pour les pollens d'arbres forestiers émis au sein d'une couverture végétale forestière (G. W. Dimbleby, 1957).

S'il n'y a pas de parallélisme étroit entre la *pluie pollinique* et l'*association végétale* dont elle provient, l'*évolution de l'une dépend des modifications de l'autre.* Or, la flore est extrêmement sensible aux variations édapho-climatiques ou plus généralement *écologiques* (compétition entre espèces face aux agents externes). Dans le cadre de périmètres étendus, les changements notables de la végétation sont dûs essentiellement au climat, seul susceptible d'imposer des variations causales généralisées et prolongées ; la flore évolue ainsi progressivement vers le *climax*. Mais, d'autres influences peuvent rompre l'équilibre biologique de l'association. Par exemple, la vitesse différente de migration des espèces, fonction de la capacité de dispersion des semences, échelonne l'arrivée d'espèces nouvelles en un lieu donné, modifiant ainsi par à-coups les facteurs de la compétition. Et surtout, à partir de l'époque où il a développé l'élevage et l'agriculture, l'Homme est devenu un puissant agent perturbateur du cadre végétal naturel.

Il n'en reste pas moins valable qu'en lieu donné, l'étude pollinique des différents niveaux d'un profil vertical permet de suivre l'évolution de la flore, sous réserve qu'il n'y ait pas de lacune stratigraphique.

On admet que des sédiments sont *synchrones* s'ils présentent des spectres analogues *se suivant dans un ordre déterminé* dans leurs coupes respectives. Ainsi, apparaît l'intérêt du *diagramme pollinique* réalisé en juxtaposant les uns au-dessus des autres les spectres étagés issus de la même section verticale d'un sédiment. L'interprétation repose à la fois sur les pollens les plus fréquents mais aussi sur des pollens indicateurs parfois très rares.

Mais, pour comparer les spectres de plusieurs diagrammes, il est indispensable de définir au préalable l'évolution paléobotanique de la région étudiée, c'est-à-dire d'établir le diagramme de référence ou *diagramme-standard.*

2°) La conservation des pollens

La résistance extraordinaire des pollens à l'altération réside dans la nature particulière de la paroi la plus externe, l'« exine », du grain de pollen qui serait formée d'une substance non azotée de nature encore mal définie, voisine des composés terpéniques. L'exine résiste à de nombreux et puissants agents chimiques tels qu'acides forts et bases fortes ; en fait, elle n'est guère sensible qu'aux oxydants.

Pour avoir une chance de conservation, la pluie pollinique doit donc parvenir jusqu'à un milieu pauvre en oxygène, par exemple le fond des lacs ou des mers. L'ensevelissement rapide de la pluie sous des sédiments aboutit à un résultat semblable. De même, les milieux fortement acides qui contrarient la minéralisation des composés organiques par voie microbienne, sont favorables à la conservation des pollens ; tel est le cas des tourbes et des sols d'humus brut (G. W. Dimbleby, 1961 *a*).

Enfin, parce que les pollens possèdent une résistance à l'altération variable suivant les espèces, des différences de constitution pollinique entre deux couches peuvent résulter de modifications biologiques du milieu de conservation.

3°) La présence de pollens dans les formations superficielles de Limagne

a) *Les marno-calcaires*

La présence de pollens de Conifères dans les marnes de Limagne a été signalée pour la première fois par L. Dangeard (1934), dans l'Oligocène du puy de Mur et de Gergovie.

Dans les sédiments stampiens que nous avons examinés, la caractéristique dominante est la présence relative, constante et massive (95 à 99 p. 100), des pollens à ballonnets de Conifères, parmi lesquels les *Pinus* de type haploxylon sont nettement les mieux représentés, accompagnés par des *Picea* et par des *Pinus* de type diploxylon peu nombreux. En fait, les principales variations polliniques observées portent sur les taux de ces divers Conifères.

Parmi les pollens complémentaires, nous avons distingué par ordre de fréquence décroissante, des Composées Liguliflores, des *Carya* sp., des *Ulmus* sp., des Éricacées, des Crucifères, des *Liquidambar* sp. Dans un échantillon provenant de la carrière des fours à chaux de Joze, nous avons rencontré une flore particulière composée de pollens de Polygonacées et d'Ombellifères accompagnées par quelques Liguliflores.

En raison de la nature de la flore tertiaire, nettement différente de celle du Quaternaire récent, objet de nos recherches, nous n'avons pas poursuivi l'étude de ces pollens d'âge oligocène. D'ailleurs la flore stampienne de Limagne a été étudiée par P. Grangeon (1958) qui lui a consacré un important travail. Nous avons tout de même constaté que la richesse pollinique des sédiments dépend de leur faciès, conséquence logique des variations des conditions biologiques et physico-chimiques dans lesquelles s'est opérée la sédimentation. Ainsi, les calcaires compacts sont dépourvus de pollens et de spores dont l'abondance augmente avec le caractère argileux ; en particulier les marnes de couleur grise sont très pollinifères en même temps qu'elles sont riches en matières organiques.

b) *Les limons*

Les limons ne présentent généralement pas d'autres pollens que ceux des marnes en place confirmant ainsi la liaison génétique de ces deux formations. Nos observations rejoignent donc une remarque identique formulée par J. Iversen (1936), concernant des argiles et limons de transport.

Dans quelques échantillons, en particulier vers les contacts avec des vases, nous avons cependant rencontré quelques grains de pollen isolés attribuables avec certitude aux périodes récentes. Mais, il faut dire qu'en présence de représentants de deux flores d'âge différent ainsi mêlées, il est très difficile de séparer les individus qui appartiennent à chacune d'elles. La distinction peut s'appuyer sur quelques caractères. D'abord, les espèces communes aux deux périodes constituent la minorité des pollens observés ; en particulier, dans les sédiments holocènes de Limagne, nous

n'avons jamais trouvé de *Pinus* de type haploxylon ni de *Picea*. Ensuite, l'état de fossilisation des membranes polliniques n'est pas le même ; il en résulte que l'aspect des grains est nuancé. La coloration des préparations à la fuchsine basique présente l'intérêt d'accentuer ces nuances : *sur une même lame*, les pollens tertiaires, plus fossilisés, prennent des tons plutôt brunâtres et les pollens récents des teintes plutôt roses violacées ; ces nuances sont assez sensibles chez les Conifères facilitant ainsi leur distinction.

c) *Les alluvions*

Les pollens sont rares dans les sables où ils sont altérés sur place ou détruits surtout par les remaniements. Dans de telles formations, nous n'avons pu tirer quelques documents qu'à partir des strates les plus fines ; et dans ces cas, nous pensons que les pollens sont effectivement contemporains de la mise en place définitive des alluvions.

d) *Les vases*

Ce sont les sédiments les plus fertiles en pollens car ils forment un milieu anaérobie où les conditions de conservation sont bonnes. Nous avons prospecté systématiquement toutes les zones basses de la Limagne dans le but de découvrir le plus grand nombre de tels sédiments et nous n'avons finalement trouvé que deux sites possédant des vases : le marais de Lempdes-Marmillat et le marais de Sarlève occupé jadis par un lac dont des documents historiques attestent l'existence.

e) *Les formations humiques*

Alors qu'elles constituent le matériau classique sur lequel s'effectuent les recherches palynologiques, l'expérience montre qu'en Limagne où elles sont d'ailleurs exceptionnelles, elles sont peu fertiles en vestiges polliniques, et possèdent une forte teneur en matières minérales. Nous avons rencontré seulement quelques niveaux peu épais et fortement humifiés, qui répondent à la définition des Anmoors de KUBIENA (1953 *a*).

f) *Les sols*

D'une manière générale, les pollens se sont mal conservés dans les sols argilo-calcaires de Limagne. Ils ont été détruits partout où le sol s'est formé sur place et là où le colluvionnement n'a pas été suffisamment rapide, même dans les zones basses hydromorphes. Ce sont les sols les plus épais, colluvionnés de préférence dans des conditions marécageuses, qui présentent certains niveaux pollinifères.

g) *Conclusions*

Les recherches palynologiques appliquées aux formations superficielles de Limagne se heurtent à des obstacles de nature différente.

— Les marno-calcaires stampiens contiennent d'autant plus de vestiges polliniques que leur faciès est plus argileux. Ils approvisionnent de leurs pollens les limons de remaniement, roche-mère essentielle des sols argilo-calcaires limagnais.

— Les alluvions et les sols sont peu pollinifères car ils sont peu favorables à la conservation des pollens. Ainsi, parvient-on seulement à rencontrer au sein d'un profil un ou deux niveaux suffisamment riches pour établir un spectre. L'analyse pollinique ne permet alors qu'un furtif regard dans l'histoire de la mise en place des formations de surface.

En définitive, seuls quelques points privilégiés possèdent une épaisseur suffisante de sédiments pollinifères à partir desquels il est possible de tracer l'histoire paléobotanique de la Limagne. Nos observations confirment donc celles de A. MINET (1960) qui a signalé la pauvreté pollinique des dépôts quaternaires de la région lyonnaise.

4°) L'ÉVOLUTION PALÉOBOTANIQUE DE LA LIMAGNE AU COURS DU POSTGLACIAIRE

Parmi ces points privilégiés, figurent les marais de Lempdes et de Sarlève. Plus certainement que le petit marais de Lempdes, la dépression de Sarlève a été occupée pendant la majeure partie du Postglaciaire par une nappe d'eau libre ; de ce fait, la série sédimentaire de Sarlève doit être considérée, à priori, comme la plus complète, donc la plus représentative.

Pour distinguer les phases essentielles de l'évolution paléobotanique, nous avons utilisé la nomenclature que G. LEMÉE (1953*b* et 1956*b*) a adoptée dans ses travaux consacrés au Massif Central, et qui dérive de celle établie par G. FIRBAS (1952) pour les Vosges et le sud-ouest de l'Allemagne.

a) *Sarlève* 3116 (X = 664,3 ; Y = 81,6 ; Alt. = 344 m).

La nature des sédiments variant avec la localisation géographique, nous avons pratiqué l'analyse pollinique sur un profil prélevé dans l'axe de la partie sud du marais où, sur toute l'épaisseur de la coupe, nous avons traversé des sédiments fins, représentés du sommet à la base par :

— 0,60 m de sol gris argilo-calcaire,
— 1,40 m de colluvions terreuses fortement calcaires, faiblement structurées,
— 3,10 m de vase lacustre, non structurée, à odeur fétide surtout dans sa moitié inférieure,
— 1,20 m de limon verdâtre.

Le point de prélèvement est exactement situé sur la trajectoire qui joint le clocher de Cournon au monument de Gergovie et à 100 m environ à l'est de la Grande Raze centrale du marais.

Sur le diagramme de la fig. 23 qui rassemble l'ensemble des résultats, nous avons tracé séparément les courbes évolutives des principaux constituants de la pluie pollinique, toutes établies en fonction de la somme des pollens d'arbres (*Corylus*, *Salix*, *Castanea* et *Juglans* exclus). A la dernière colonne, nous avons inscrit le nombre total des pollens observés, identifiés ou non.

Le limon de base contient essentiellement des pollens tertiaires provenant des marnes stampiennes. Cependant, nous avons distingué avec certitude des pollens du Quaternaire récent dans l'échantillon qui marque la transition du limon à la vase et qui correspond à la *phase IV* de FIRBAS caractérisée par l'apparition des espèces thermophiles : Chênes et Ormes.

Phase V. — Période du Pin et du Noisetier.

Le diagramme débute véritablement avec la poussée brutale du Noisetier qui sert de repère pour définir la phase V et qui est accompagnée d'un changement de faciès dans la sédimentation.

Alors que le Bouleau est rare, il est remarquable de noter la montée du Chêne et de l'Orme qui remplacent assez rapidement le Pin et qui traduisent le réchauffe-

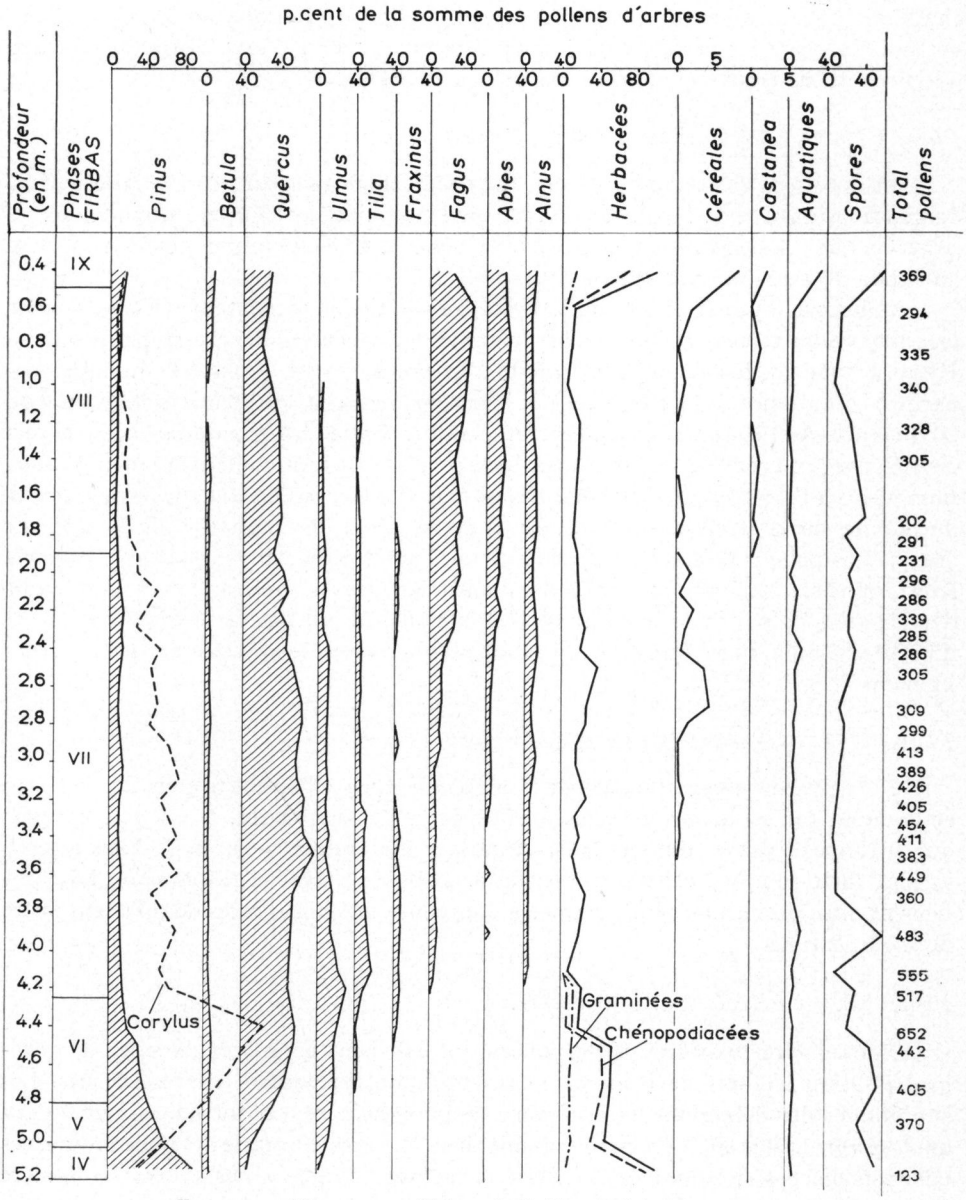


FIG. 23. — *Diagramme pollinique de Sarliève Sud* (3116)

ment climatique postglaciaire. Simultanément, on assiste à un recul sensible des pollens d'herbes représentées pour les trois quarts environ par des Chénopodiacées.

Phase VI. — Forêt thermophile de Chênes et de Noisetiers.

Les constituants polliniques de la Chênaie-mixte : Chêne, Orme, Tilleul, Frêne, prennent définitivement le pas sur le Pin refoulé à de plus hautes altitudes. Comme sur l'ensemble du Massif Central, le Noisetier atteint son maximum pollinique au cours de cette phase marquée aussi par l'apparition du Tilleul et du Frêne et par la chute des pollens d'herbes qui prennent une proportion harmonisée avec une couverture forestière à peu près complète de l'environnement. C'est aussi à ces niveaux que nous avons trouvé quelques rares pollens d'Érable.

Phase VII. — Forêt thermophile de la Chênaie-mixte.

Cette période contemporaine de l'optimum climatique du Postglaciaire voit la domination massive de la Chênaie-mixte sur l'ensemble de l'Europe occidentale. A cette époque, G. Lemée (1953 *a*) a montré que la Chênaie-mixte s'élevait jusqu'à l'altitude de 1 400 m dans le Massif Central.

A Sarlièvе, l'Orme, le Tilleul, le Frêne puis le Chêne présentent successivement leur maximum relatif, et le Coudrier régresse lentement, tandis qu'apparaissent le Hêtre, l'Aune et plus timidement le Sapin. Chez les plantes herbacées, on note l'apparition simultanée des Céréales et des Plantains qui sont les premiers stigmates de la présence de l'Homme agriculteur et éleveur. Parmi les Plantains, nous avons distingué deux types de pollens, aussi bien représentés l'un que l'autre et que nous rapportons à *Plantago lanceolata* et à *Plantago media* en nous basant sur les caractères du pore et sur la structure de l'exine suivant la clé de détermination de I. Müller (1947). Les pollens de Céréales possèdent un diamètre d'environ 45-48 μ et une collerette épaisse autour du pore. Ils deviennent provisoirement plus nombreux dans la seconde partie de cette phase et contribuent ainsi à élever le taux des pollens d'herbes jusqu'à 36 p. 100, ce qui traduit distinctement les premiers défrichements humains.

Phase VIII. — Forêt de Hêtres et de Sapins.

Cette phase est caractérisée par la prépondérance pollinique acquise par le Hêtre et le Sapin sur les arbres à larges feuilles de la Chênaie-mixte. Il est à remarquer que le Hêtre conserve toujours la suprématie pollinique sur le Sapin. L'Aune atteint sa plus forte représentation. Au contraire, le Bouleau tend à disparaître. La forêt devient ainsi de plus en plus « fermée ». Les constituants herbacés ne subissent guère de modifications.

Phase IX. — Période finale diversifiée.

Nous n'avons pas trouvé de pollens normalement conservés dans les échantillons prélevés à moins de 0,40 m, épaisseur du sol perturbée par les labours. Les symptômes des déboisements généralisés apparaissent cependant au dernier niveau analysé vers la surface. Ce sont, en premier lieu, la poussée brutale des pollens d'herbes (Chénopodiacées et Graminées), ensuite la montée pollinique des arbres de lumière (Pin — Bouleau — Chêne) au détriment du Hêtre et du Sapin.

b) *Marmillat* 3106 (X = 665,6 ; Y = 87,6 ; Alt. = 324 m).

Les échantillons analysés proviennent d'une coupe effectuée à 20 m au sud du nouveau tracé du Bec de Sarlième, face à l'aire bétonnée d'un ancien abri militaire, soit à 350 m environ au nord-ouest de la ferme de Marmillat, sur la commune de Lempdes. Le profil observé est le suivant, du sommet à la base :

— 1,3 m de sol noir ;
— 0,2 m d'agrégats rouges qui résultent vraisemblablement du brulis d'une formation tourbeuse ;
— 0,06 m d'anmoor très humifié, structure massive grasse ;
— 0, 7 m de vase grise faiblement structurée, à nombreux canicules sur l'emplacement d'anciennes racines. Cette vase, riche en Limnées et Planorbes, est blanchâtre à la partie supérieure où elle est remplie de Diatomées d'eau douce ;
— 1,25 m de limon verdâtre contenant quelques paillettes éparses de micas dorés ;
— 1,0 m de limon beige sans trace de micas.

Le passage du limon à la vase s'effectue par une transition de 0,10 en moyenne.

Ces sédiments, lacustres et palustres, sont pollinifères depuis le sommet du limon jusqu'au quart inférieur du sol. Les phases de végétation mises en évidence à Sarlième se retrouvent dans ce nouveau diagramme (fig. 24).

Phase IV. — Période du Pin.

Dans la partie supérieure du limon qui sert de transition avec la vase, nous avons observé une flore pollinique presque entièrement constituée par le Pin en ce qui concerne les arbres, et par les Chénopodiacées pour les espèces herbacées. Le Noisetier est encore rare alors que le Chêne, l'Orme et l'Aune sont à peine représentés.

Phase V. — Période du Pin et du Noisetier.

Avec la sédimentation vaseuse, survient la montée rapide du taux pollinique du Noisetier et la progression plus lente de ceux du Chêne et de l'Orme qui prennent progressivement la place du Pin. Le Frêne apparaît.

Comme à la phase précédente, les pollens d'herbes persistent à un niveau très élevé. Ce qui surprend en présence d'une végétation forestière déjà nettement évoluée dans sa nature. Il y a là un fait apparemment contradictoire qui sera discuté plus loin.

Phase VI. — Forêt thermophile de Chênes et de Noisetiers.

Comme à Sarlième, il faut attendre le cours de cette phase pour que la végétation forestière ait totalement conquis les abords du site. Si la Chênaie-mixte représente la quasi-totalité de la strate forestière, on assiste en même temps au développement extraordinaire du Coudrier qui atteint un taux pollinique maximum, voisin de 300 p. 100, à peu près contemporain des maxima bien groupés de l'Orme, du Frêne et du Chêne. Par contre, le Tilleul apparaît tardivement.

Ce développement relatif maximum de la Chênaie-mixte et du Noisetier coïncide avec la pullulation des Diatomées, indice d'eaux claires et limpides dans lesquelles ces pollens se sont sédimentés avec la vase blanche.

Au cours de cette phase, le recul des pollens d'herbes affecte d'abord les Chéno-

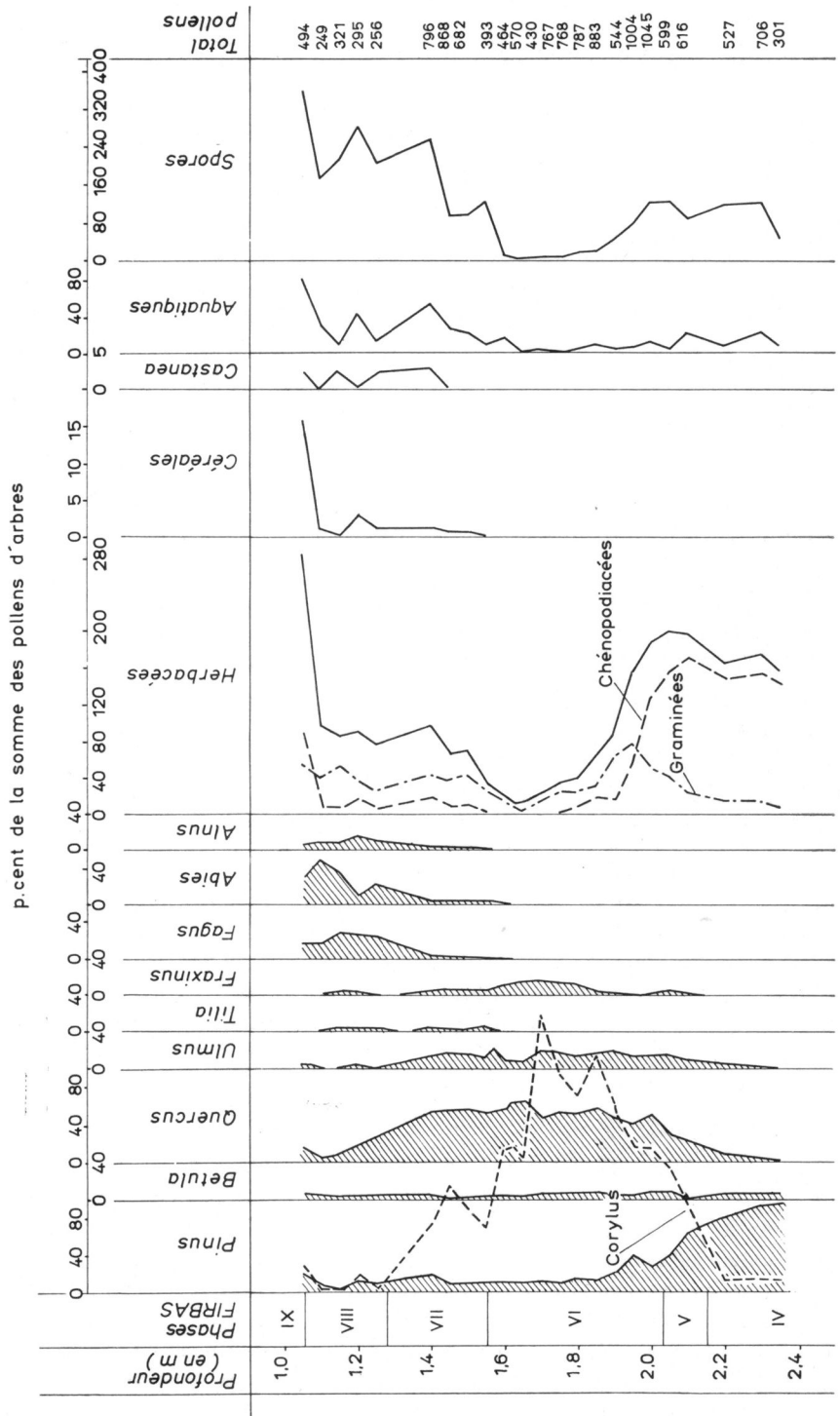


FIG. 24. — *Diagramme pollinique de Marmillat* (3106)

podiacées qui perdent leur avantage pollinique sur les Graminées, elles-mêmes déclinantes ultérieurement.

Phase VII. — Forêt thermophile de la Chênaie-mixte.

Au niveau de l'anmoor, le Coudrier perd la suprématie pollinique sur les constituants de la Chênaie-mixte. En même temps, apparaissent le Hêtre, le Sapin, l'Aune et les Céréales, tandis que les pollens d'herbes amorçent une première poussée, principalement grâce aux Graminées. Un peu plus tard, le Châtaignier fait aussi son apparition et le Coudrier présente un maximum secondaire qui confirme les observations rapportées par G. Lemée (1956 *a*) concernant l'ensemble du Massif Central.

Phase VIII. — Forêt de Hêtres et de Sapins.

Dès la base du sol, le Hêtre et le Sapin acquièrent la prédominance pollinique sur les arbres de la Chênaie-mixte. L'Aune suit une évolution parallèle. Au contraire, le Coudrier disparaît presque totalement des abords du site. Il est intéressant de noter que le Sapin, d'abord dominé, prend finalement l'avantage sur le Hêtre.

Au cours de cette phase, les constituants herbacés de la pluie pollinique ne présentent aucune modification appréciable.

Phase IX. — Période finale diversifiée.

A la partie supérieure du diagramme, le dernier niveau pollinique marque le déboisement généralisé qu'a subi l'environnement de Marmillat et qui est attesté par la montée violente des pollens d'herbes, aussi bien les Céréales que les espèces prairiales (Graminées et Composées Liguliflores) et les espèces rudérales (Chénopodiacées).

Parmi les arbres, les essences de lumière : Pin, Chêne, Noisetier, manifestent une reprise pollinique sensible au détriment du Hêtre et surtout du Sapin.

c) *Discussion : interprétation comparée des deux diagrammes*

Les deux diagrammes de Sarliève et de Marmillat sont donc semblables dans leur ensemble et indiquent que la Limagne a suivi une évolution paléobotanique parallèle à celle que G. Lemée (1953 *a*) a reconnue dans tout le Massif Central mais distincte de l'évolution type des plaines françaises décrites par G. Dubois (1948). Les discordances sont secondaires et ne mettent pas en cause le sens des phénomènes mais seulement leur intensité.

α) *Les faits convergents.*

A la base des diagrammes, un premier point attire l'attention : le taux élevé des pollens d'herbes représentées essentiellement par des Chénopodiacées qui persistent alors que le réchauffement postglaciaire s'est déjà traduit par une évolution incontestable de la flore forestière. Ce sont là des constatations apparemment contradictoires si l'on se réfère aux données classiques, en particulier aux travaux de G. Firbas dont nous avons adopté la nomenclature des phases à la suite de G. Lemée. En effet, selon G. Firbas (1952), le début du Postglaciaire (phase IV) est caractérisé par la chute de la représentation des herbacées alors qu'apparaissent les essences thermophiles de la Chênaie.

Nous pensons que la présence *simultanée et abondante* des pollens de la Chênaie

et des espèces herbacées résulte de la variété des microclimats qui existent dans le « Pays des Buttes » au sud de la Grande Limagne, et qui ont permis à la fois le développement précoce du Coudrier, du Chêne et de l'Orme à partir de zones refuges favorisées et le maintien tardif d'une végétation de nature steppique dans les sites davantage soumis au froid. On pourrait objecter que le taux élevé des pollens d'herbes — 100 puis 50 p. 100 à Sarlièvе, jusqu'à 200 p. 100 à Marmillat — prouve que le paysage limagnais était alors essentiellement celui d'une steppe et que le début du Postglaciaire devrait être reculé jusqu'au moment où les herbacées ont rapidement cédé devant les arbres dans la composition de la pluie pollinique.

Cette position ne nous paraît pas valable. Car, à Marmillat par exemple, le début du Postglaciaire serait alors presque contemporain du maximum pollinique du Noisetier. Le développement progressif du Chêne et de l'Orme au détriment du Pin nous semble un critère plus sûr pour traduire le début du réchauffement climatique postglaciaire qui s'est manifesté lentement en Limagne.

La faible représentation du Bouleau à tous les niveaux, principalement à la base des diagrammes, au cours des phases IV et V est un élément qui traduit la continentalité climatique. Au contraire, dans les zones à climat humide, on assiste souvent à la domination du Pin par le Bouleau au cours de ces périodes (G. Firbas, 1949).

Mais que penser de l'abondance des Chénopodiacées au sein des pollens d'herbes ? D'abord, la morphologie particulière de ce type de pollens nous permet d'écarter l'hypothèse d'une confusion possible, même avec les pollens de Caryophyllacées qui lui ressemblent. Ensuite, nous éliminons aussi l'hypothèse de pollens d'âge tertiaire puisque nous n'avons rencontré que rarement des Chénopodiacées dans l'ensemble des sédiments stampiens examinés. Enfin, nos observations concordent avec celles de G. Lang et W. Trautmann (1961) qui ont trouvé de tels pollens dans les sédiments de base des tourbières de l'Aubrac, bien que ces découvertes concernent la phase I dite des Dryas anciens et que la participation des Chénopodiacées n'ait jamais dépassé 12 p. 100.

Dans son traité sur l'analyse pollinique, I. M. Pokrovskaïa (1950) signale également que dans les spectres de la steppe froide « prédominent les pollens de plantes herbacées et parmi ceux-ci des Chénopodiacées (p. 350). D'autre part, l'abondance des espèces de cette famille peut résulter aussi de leur forte prolificité pollinique. En fait, les Chénopodiacées sont surtout d'excellentes espèces pionnières, capables de grandes extensions sur des surfaces dénudées. Or, les limons limagnais et les sols dérivés ont constitué un milieu très favorable aux phénomènes de solifluxion qui ont pu contrarier fortement l'installation des espèces pérennes telles que les Graminées ou les Composées prairiales, et favoriser ainsi le maintien tardif de surfaces partiellement dénudées. Le remplacement des Chénopodiacées par les Graminées dans la pluie pollinique apparaît nettement sur le diagramme de Marmillat avant la domination complète des pollens forestiers.

Ainsi, nous considérons que le Postglaciaire commence effectivement avec le remplacement progressif du Pin par les essences thermophiles de la Chênaie. Le Noisetier qui a de moindres exigences de chaleur a proliféré très rapidement et a acquis parfois un développement considérable, comme à Marmillat, avant d'être dominé par *la Chênaie-mixte, forêt climax de l'optimum climatique postglaciaire.* Comme la majeure partie de l'Europe occidentale, la Limagne était donc couverte à cette époque par une immense chênaie qui débordait largement son périmètre puisqu'elle s'est

étendue jusqu'aux altitudes de 1400-1500 m dans les Monts Dore, le Cézallier et le Forez, traduisant selon G. Lemée (1953 *a*) « une élévation de 2 à 3 degrés de la moyenne annuelle de température » (p. 191).

D'autre part, nos recherches montrent que le Hêtre, et plus timidement le Sapin, sont apparus en Limagne au début de la phase VII en pleine domination de la Chênaie-mixte, sensiblement à la même époque où G. Lemée (1942) signale leur introduction dans les Monts Dore. Nos observations écartent donc toute hypothèse de zones refuges en Limagne et confirment les opinions de G. Lemée (1956 *b*) et de Mme Van Campo (1955) suivant lesquelles le Hêtre et le Sapin auraient colonisé le Massif Central à partie de la vallée du Rhône et du Bassin Aquitain.

Pour que le Hêtre et le Sapin aient pu ensuite se développer au point d'acquérir la suprématie pollinique sur le Chêne, il faut admettre une nette dégradation climatique mise en évidence d'ailleurs dans toute l'Europe occidentale. Le Chêne possédant une plus grande prolificité pollinique que le Hêtre et le Sapin, nous pensons, contrairement à A. Rudel et G. Lemée (1955), que la fagabiétaie représentait assurément la formation forestière dominante de la Limagne au cours de la phase VIII ; le Sapin lui-même serait bien descendu dans la plaine.

β) *Les faits divergents.*

L'évolution paléobotanique de la Limagne au cours du Postglaciaire peut être précisée dans ses détails par l'analyse des faits divergents relevés entre les diagrammes de Sarlième et de Marmillat.

Les bases de l'interprétation comparative nous paraissent les suivantes. Primo, l'étendue de l'ancien lac de Sarlième est environ 8 fois supérieure à celle du marais de Lempdes ; le profil situé au centre de Sarlième est à plus grande distance des sources polliniques. Secundo, l'environnement de Sarlième comprend un grand éventail de situations écologiques alors que Marmillat est placé au pied des versants nord des puys d'Anzelle et de Banne, qui impriment un microclimat local non compensé par la proximité de pentes exposées au Sud. Il en résulte que le diagramme de Sarlième a une signification plus régionale et que Marmillat représente un cas particulier de site relativement moins tempéré.

Dès la base du diagramme, le microclimat plus froid de Marmillat fournit probablement la raison de la plus forte représentation des pollens d'herbes, principalement de Chénopodiacées. Conformément à l'hypothèse que nous venons de formuler sur l'abondance des Chénopodiacées, nous pensons que sur les pentes nord des coteaux d'Anzelle et de Banne, l'activité de la solifluxion se serait prolongée plus longuement au début du Postglaciaire et serait responsable du maintien tardif d'une steppe froide aux nombreux vides colonisés chaque année par les Chénopodiacées. Mais cette opinion n'exclut pas d'autres éventualités. Si l'on pense que l'abondance des pollens de Chénopodiacées est tout à fait exceptionnelle à Marmillat, il faut rechercher une raison elle-même exceptionnelle. Par exemple, le petit lac de Marmillat, aux eaux peu profondes et aux berges très douces, aurait pu être un point d'abreuvement privilégié pour les troupeaux dont le piétinement excessif provoquant la dénudation du sol et la richesse en excréments, auraient été des facteurs favorables aux espèces rudérales que sont les Chénopodiacées.

Nous pensons également que le très fort développement relatif du Noisetier

observé à Marmillat résulte aussi de conditions microclimatiques plus rudes qui auraient contrarié et retardé la prolifération du Chêne et de l'Orme.

A notre avis, les mêmes causes expliquent la plus grande représentation pollinique de la Hêtraie-Sapinière qui atteint 75 p. 100 à Marmillat. Cette hypothèse semble confirmée par le fait que le Sapin y est plus favorisé que le Hêtre puisque, contrairement à Sarlièvе, le second finit par perdre sa suprématie sur le premier. Nous retrouvons ainsi à Marmillat la succession du Sapin au Hêtre que G. LEMÉE (1955) a mise en évidence dans les montagnes de l'est du Massif Central, en particulier dans le Forez, le Livradois et jusque dans le nord des Monts Dore.

Cette influence de la situation géographique sur le peuplement végétal limagnais persiste encore de nos jours, en particulier pour le Hêtre et le Sapin. En effet, sous le climat actuel de la Limagne, le Hêtre est présent dans la partie orientale de plaine, et aussi au sud, dans le massif de la Comté, où il reçoit une pluviométrie annuelle moyenne supérieure à 800 mm ; tandis qu'à l'ouest, il n'apparaît que dans quelques sites précisément exposés au nord : dans son Inventaire de la flore d'Auvergne, le docteur M. CHASSAGNE (1956) cite les flancs septentrionaux des plateaux de Châteaugay et de Gergovie, à l'altitude minimale de 540 m. Quant au Sapin, plus rares sont les peuplements à régénération naturelle : le versant nord de la coulée de Châteaugay selon M. CHASSAGNE ; dans la Limagne d'Issoire climatiquement comparable, Lucien GACHON (1939) a signalé un boisement spontané sur les pentes exposées au nord en contre-bas du rebord de la coulée de Bergonne à 505 m d'altitude. Donc, actuellement, c'est au revers septentrional des « chaux » limagnaises que les aires respectives du Hêtre et du Sapin présentent leurs plus basses altitudes.

Ces observations ne permettent cependant pas d'affirmer avec certitude que les pollens de *Fagus* ou d'*Abies* trouvés dans la plaine n'ont pas pour origine des peuplements localisés sur les massifs périphériques, en particulier sur les Monts Dômes. Pourtant, le pollen de Sapin possède un faible pouvoir de dispersion que I. M. POKROVSIAKA (1950) estime être de l'ordre du kilomètre seulement. Et Marmillat, plus éloigné que Sarlièvе des reliefs de bordure, présente un taux pollinique d'*Abies* deux fois plus élevé avec des maxima respectifs de 53 et 24 p. 100. Autant d'arguments qui nous font admettre aux abords de Marmillat, à 325 m d'altitude, la présence d'une forêt mélangée à base de Sapin, de Hêtre et de Chêne. La comparaison avec la distribution actuelle du Sapin et du Hêtre confirmerait donc les conclusions formulées par G. LEMÉE (1953 *a*) sur la plus grande humidité du climat au cours de la phase VIII et celles de P. BOUT (1952 et 1957) relatives au Néolithique de la Haute Loire contemporain de cette phase. En admettant après le docteur M. CHASSAGNE (1956) que le Sapin demande pour être prospère une pluviométrie annuelle de l'ordre de 1 000 à 1 500 mm, cela revient à dire que Marmillat devait recevoir à cette époque près de deux fois plus d'eau que de nos jours.

Au cours de la phase VIII, la plaine de Limagne était donc recouverte de Chênaies et de Hêtraies-Sapinières plus ou moins mélangées suivant les expositions. Ces peuplements forestiers représentaient certainement des stades climax et étaient peu différents de ceux que nous connaissons actuellement dans les Basses Vosges et décrits par Ph. DUCHAUFOUR (1954), c'est-à-dire des Sapinières mêlées de Hêtre aux expositions nord et de Chêne-Hêtre aux expositions plus chaudes.

Au contraire, avec la phase IX, s'ouvre l'ère des défrichements généralisés et la végétation subit ensuite une évolution dirigée par l'œuvre humaine.

Que serait devenue la couverture végétale limagnaise sans l'intervention de l'Homme ? Nous pensons qu'avec les modifications climatiques survenues au cours des deux ou trois derniers millénaires, la Limagne aurait conservé un manteau forestier qui serait redevenu une Chênaie d'où le Sapin aurait presque totalement disparu. Nous partageons donc complètement l'opinion de G. Lemée (1943, p. 109), suivant laquelle la Limagne porterait aujourd'hui des « forêts d'essences feuillues à Chênes dominants dans les parties basses et sur les pentes où le sol a acquis une épaisseur suffisante, une chênaie de Chêne pubescent plus ou moins clairiérée sur les pentes où la roche affleure ou n'est recouverte que d'un sol squelettique ».

5°) Les symptômes de l'activité humaine

Dans ce paysage végétal de la Limagne qui a été reconstitué grâce aux données de l'analyse pollinique et qui passe successivement de la steppe à la forêt « claire » de la Chênaie-mixte, puis à la forêt « fermée » de la Hêtraie-Sapinière, quels sont les indices apparents de l'influence humaine sur la végétation ?

C'est essentiellement lorsqu'il est passé de l'état de cueilleur-pêcheur-chasseur à celui d'agriculteur-éleveur que l'Homme a été amené à favoriser certaines productions végétales alimentaires, et par là à modifier la composition de la pluie pollinique. Ce changement d'attitude que l'on s'accorde à dater du Néolithique l'a contraint à créer au sein du manteau forestier des clairières de cultures et de prairies, à introduire des arbres fruitiers tels que le Châtaignier et le Noyer.

Avec l'élevage et l'agriculture se multiplient donc les constituants herbacés de la pluie pollinique, principalement les Graminées et les Composées Liguliflores dont certaines espèces sont indicatrices de pelouses anthropomorphes et d'autres sont des rudérales au même titre que les Chénopodiacées. Le Plantain est également un excellent indicateur pour suivre « la piste des conquérants Néolithiques » (J. Iversen, 1941). Enfin, les Céréales apparaissent ; mais leurs restes polliniques sont relativement rares car les premières cultivées auraient été l'Orge et le Blé, espèces autogames. Le Seigle, allogame et meilleur pollinisateur ne serait arrivé que bien plus tard en Europe occidentale, à l'âge du Fer seulement au Danemark, selon J. Iversen (1949).

A Sarlièvе comme à Marmillat, nous constatons au début de la phase VII que les Plantains et les Céréales apparaissent presque simultanément. A Marmillat, ces symptômes sont accompagnés par l'accroissement des pollens de Graminées et de Liguliflores si bien que la représentation globale des herbacées accuse une montée très nette qui se prolonge par un palier jusqu'à la phase IX.

Comment expliquer ces différences d'intensité dans les marques de l'activité humaine entre Marmillat et Sarlièvе ? Nous envisageons deux hypothèses. Primo, en raison de la plus grande étendue du lac de Sarlièvе les pollens ont à parcourir une plus grande distance entre les abords et le point de prélèvement, d'où le faible taux d'ensemble des pollens d'herbes ; les Graminées et les Liguliflores seraient plus affectées par cet obstacle. Secundo, l'environnement des abords de Sarlièvе, principalement à l'ouest d'où viennent les vents dominants, aurait été moins propice que celui de Marmillat aux premiers défrichements néolithiques.

Enfin, à Marmillat, nous observons un fait singulier que nous sommes tenté d'attribuer à l'Homme. Au niveau de la phase VII, nous relevons à la base du sol

la présence de symptômes indiscutables d'incendie. La couche rouge est formée d'agrégats de terre cuite tout à fait semblables à ceux que l'on peut voir à la surface du sol sous les cendres d'un foyer important. De plus, cet accident concorde exactement avec la poussée des pollens d'herbacées et l'apparition des Céréales et des Plantains. La formation tourbeuse du marais de Lempdes aurait alors été détruite par un incendie sauf dans les zones les plus basses où elle aurait été préservée partiellement par la nappe phréatique.

En définitive, l'analyse pollinique permet de relever en Limagne les traces d'activités humaines agricoles et pastorales au cours des phases VII et VIII. Mais c'est seulement à la phase IX que l'Homme a véritablement modifié le paysage végétal par l'abattage généralisé de la forêt alors constituée essentiellement de Hêtre, de Sapin, et de Chêne.

B. — La recherche de corrélations chronologiques avec les phases paléobotaniques

Les phases successives précédemment définies de l'évolution paléobotanique de la Limagne nous fournissent une échelle de chronologie relative que nous avons cherché à étalonner par des mesures d'âge absolu ou par référence à des faits eux-mêmes datés.

1°) Généralités

Dès la fin du XIXe siècle, les géologues suédois Blytt (1876), puis Sernander (1910) ont rattaché des observations stratigraphiques à des variations paléoclimatiques. Ces premiers travaux ont porté surtout sur l'évolution du niveau des mers en fonction du retrait glaciaire. Blytt et Sernander ont ainsi distingué huit périodes climatiques au cours du Tardiglaciaire et du Postglaciaire.

Mais leur schéma des modifications climatiques n'a pas été confirmé par les résultats de l'analyse pollinique. Ainsi, la terminologie de Blytt-Sernander est-elle de moins en moins utilisée dans un sens paléoclimatique ; elle est néanmoins conservée à titre conventionnel.

De même, on a souvent tenté d'établir par l'analyse pollinique les corrélations existant entre l'activité préhistorique de l'Homme et les modifications paléobotaniques. Par l'étendue de ses applications, la palynologie apparaît donc comme un excellent moyen de synchronisation et de nombreux auteurs ont publié des tableaux synthétiques sur les divers événements du Quaternaire.

En France, nous devons de telles synthèses à G. Dubois (1940) et à G. Lemée (1948, 1955). Nous avons retenu le dernier tableau publié par G. Lemée (1955) dont nous reproduisons la partie concernant le Massif Central et qui indique les corrélations entre les périodes de Blytt-Sernander et les phases paléobotaniques définies suivant la nomenclature de Firbas. Une échelle chronologique complète les indications (tableau 19).

Mais, parce que notre étude met en évidence le rôle prépondérant exercé par l'Homme en Limagne au cours du Postglaciaire, nous avons ajouté au tableau de G. Lemée des indications sur la chronologie des industries humaines empruntées à Cl. Barrière (1956) et à L. R. Nougier (1950) qui ont consacré leurs thèses

respectives aux civilisations tardenoisiennes et aux civilisations campigniennes de l'Europe occidentale.

La seule date divergente entre Cl. BARRIÈRE et L. R. NOUGIER concerne la limite entre le Mésolithique et le Néolithique. Cette divergence n'est en fait qu'appa-

TABLEAU 19

Synchronisation des événements du Tardiglaciaire et du Postglaciaire.

	Industrie humaines	Millénaires	Périodes climatiques (BLYTT-SERNANDER)	Millénaires	Phases (FIRBAS)	Massif Central
	Fer	0	Subatlantique	0	X IX	Recrudescence du Pin Chêne-Pin-Hêtre Augmentation des pollens d'herbes
	Bronze	— 1 — 2	Subboréal	— 1 — 2	VIII	Hêtre-Sapin
Postglaciaire	Néolithique (BARRIERE) (NOUGIER)	— 3 — 4 — 5	Atlantique	— 3 — 4 — 5	VII VI	Chênaie mixte-Noisetier Apparition du Tilleul Noisetier-Chênaie mixte
	Mésolithique	— 6 — 7 — 8	Boréal Préboréal Subarctique	— 6 — 7 — 8	V IV III	Pin-Noisetier Pin Steppe-Toundra supérieure
Tardiglaciaire	Paléolithique	— 9 —10 —11	Alleröd Arctique	— 9 —10 —11	II I	Bouleau-Pin Steppe-Toundra inférieure

←d'après Cl. BARRIERE (1956)→

←d'après L. R. NOUGIER (1950)→ ←d'après G. LEMÉE (1955)→

rente car les deux civilisations ont certainement coexisté pendant plusieurs siècles. R. GRAHMANN (1955) confirme que les nouvelles formes d'économie néolithique se sont surtout répandues en Europe occidentale au cours du 3e millénaire avant J.-C. La grande pénétration cantalienne des Campigniens, venant du Bassin parisien et traversant les Limagnes, serait tardive selon L. R. NOUGIER qui la situe aussi au 3e millénaire. En conséquence, nous retiendrons que l'activité des Néolithiques a dû s'exercer en Limagne principalement aux 3e et 2e millénaires avant J.-C. De plus, il est probable que des survivances des industries néolithiques — particulièrement dans le domaine de la poterie — se sont maintenues jusqu'à l'âge du Fer (1).

Mais, depuis une dizaine d'années, une nouvelle source de renseignements chronologiques est apparue avec la mesure du ^{14}C contenu dans les échantillons fossiles. On a ainsi confirmé, en les précisant, les données généralement admises. En effet, d'après H. GROSS (1958), les phases paléobotaniques de G. FIRBAS auraient les limites chronologiques suivantes :

Phases		Datation
	—	15 000
I		
	—	10 000
II		
	—	8 800
III		
	—	8 200
IV		
	—	6 800
V		
	—	5 500
VI		
VII		
	—	3 000 ou 2 500
VIII		
	—	800
IX		
		Moyen Age
X		

Par la mesure proportionnelle des isotopes de l'oxygène contenus dans les coquilles marines fossiles, C. EMILIANI (1955) a reconstitué les variations de la température des océans et a fourni ainsi des renseignements précieux sur l'évolution du climat au cours du Postglaciaire. Il a trouvé que la température des mers s'était continuellement élevée de — 14 500 à — 4 000 avant de subir à cette dernière date une légère diminution. Donc C. EMILIANI rapporte l'optimum climatique postglaciaire à la date — 4 000 qui est en accord avec les indications fournies par l'analyse pollinique (Phase VII).

Dans le Massif Central, les premières mesures du ^{14}C effectuées sur des tourbes prélevées dans les Monts Dore par G. LANG et W. TRAUTMANN (1961) ont confirmé les indications de G. LEMÉE en fixant à 2 785 ± 110 ans avant J.-C., le début de la phase du Sapin. Autrement dit, en affiliant la Hêtraie-Sapinière montdorienne à la période subboréale.

Par contre, les autres repères chronologiques établis dans le Massif Central

(1) Renseignement oral que nous devons à M. P. F. FOURNIER.

à partir de découvertes archéologiques, ne sembleraient pas concordants. Mais, comme nous l'avons déjà fait remarquer, certaines industries auraient longuement survécu aux civilisations qui leur ont donné naissance. Ainsi pourrait s'interpréter la discordance qui résulte des découvertes faites dans un abri sous roche du Cantal par H. DERVILLE et F. FIRTION (1951) et synchronisant la fin du Tardenoisien avec la limite des phases VII et VIII. Sur le plateau de Millevaches, G. LEMÉE (1949) a trouvé la fin de la phase VIII contemporaine du Bronze II de DÉCHELETTE.

2°) LES INDICATIONS RECUEILLIES EN LIMAGNE

a) *Corrélations avec les documents archéologiques*

Les documents archéologiques sur le Quaternaire récent de Limagne sont rares et représentés le plus souvent par des outils ou des sépultures qui n'offrent pas de valeur stratigraphique ni palynologique.

α) *Le niveau gallo-romain de Baude.*

De la documentation consultée, nous n'avons pu retrouver en place que le gisement gallo-romain de Baude découvert par A. VERGNETTE (1927) [1] sur le territoire de Clermont-Ferrand, à proximité immédiate du Pont de l'Éminée par lequel le chemin de Lempdes à Aubière enjambe la raze de Sarlève. En ce lieu, la couche de débris gallo-romains, épaisse de 0,35 m a conservé des pollens que nous avons inventoriés sur 5 prélèvements distincts. En raison du faible nombre de pollens d'arbres observés sur chaque échantillon, nous indiquons au tableau 20 les nombres bruts de pollens déterminés. Mais la stabilité relative de la constitution pollinique sur toute l'épaisseur de la couche archéologique nous a incité à dresser un spectre global à partir de la somme des 5 analyses.

On constate la très forte dominance des pollens d'herbes, en moyenne 11 fois supérieurs aux pollens d'arbres, déduction faite des arbustes ou arbres introduits par l'Homme. Parmi les herbacées, si les Graminées et les Composées Liguliflores sont les mieux représentées, la fréquence des Céréales et des Chénopodiacées est à souligner. Les pollens d'arbres sont relativement fluctuants d'un échantillon à l'autre en raison de leur petit nombre, mais il faut noter la persistance du Hêtre et du Sapin, et surtout la présence du Châtaignier et la trace du Noyer.

Ces résultats confirment donc que la période gallo-romaine se place incontestablement dans la phase finale diversifiée (IX), à peine ébauchée au sommet des diagrammes de Sarlève et de Marmillat. La nature d'une telle représentation pollinique laisse penser que le site de Baude était totalement déboisé et que les rares pollens d'arbres ont une origine éloignée, soit la Chaîne des Puys, soit les pentes de Gergovie ou de l'escarpement de faille limagnais.

β) *L'assainissement fossile du marais de Saint-André-le-Coq.*

Au cours de notre prospection, nous avons eu l'attention attirée par l'existence d'un ancien réseau de fossés d'assainissement au centre du marais de Saint-André-le-Coq. Certains échantillons prélevés dans la moitié inférieure de l'un de ces fossés

[1] Nous remercions vivement M. P. F. FOURNIER qui a bien voulu nous indiquer sur le terrain l'emplacement exact des découvertes de A. VERGNETTE.

TABLEAU 20

Spectres polliniques de Baude et de Surat (3014)

Profondeur en mètres	*Pinus*	*Betula*	*Quercus*	*Ulmus*	*Alnus*	*Fagus*	*Abies*	Σ A. P.	*Corylus*	*Salix*	*Castanea*	*Juglans*	Céréales	Graminées	Composées : Autres	Composées : Liguliflores	Chénopodiacées	Plantaginacées	Ombellifères	Varia	Σ N. A. P.	Cypéracées	Autres aquatiques	Indéterminés	Pollens inventoriés	Spores
Baude																										
1,2	*3*		*7*	*1*	*2*		*3*	*16*		*9*	*1*		*14*	*93*	*37*	*9*	*27*	*4*	*4*	*9*	*197*	*34*	*3*	*10*	*270*	*13*
1,25	*2*	*1*	*5*	*1*	*1*	*2*	*1*	*13*	*2*	*2*	*7*		*20*	*79*	*44*	*2*	*25*	*5*	*3*	*1*	*179*	*28*	*7*	*17*	*255*	*5*
1,3	*3*	*2*	*7*			*4*	*2*	*18*	*3*	*7*			*13*	*68*	*40*	*6*	*22*	*1*	*7*	*1*	*168*	*36*	*2*	*21*	*255*	*32*
1,35	*9*	*5*	*8*		*5*		*1*	*28*	*6*	*7*	*1*		*20*	*110*	*52*	*6*	*49*	*6*	*8*	*2*	*253*	*37*	*2*	*35*	*369*	*17*
1,55	*3*	*2*	*6*	*1*		*2*	*2*	*16*	*4*	*3*	*6*	*1*	*10*	*90*	*48*	*8*	*24*	*7*	*7*	*25*	*219*	*14*	*2*	*21*	*286*	*6*
Spectre global ...	22	11	36	3	9	9	10	*91*	17	31	17	1	85	480	243	34	162	25	32	42	1 120	164	18	114	*1 435*	80
Surat (3014)																										
0,5-0,6	57	11	16	3	6	1	6	*104*	16	2	1		13	49	296	11	48	9	2	4	432	116	137	24	*863*	400
0,9-1,0	33		22	6	11	15	11	*54*	24		3		20	81	210	7	50	11	7	5	392	165	98	33	*439*	444
1,2-1,3	38	1	7	2	3	17	31	*107*	9			1	1	25	78	5	18	1	1		128	46	132	17	*458*	292

N. B. — Les chiffres en italiques représentent la distribution numérique des pollens observés. Les autres expriment des pourcentages rapportés à la somme des arbres forestiers et non cultivés. (Σ . A. P.)

comblés de sol noir qui entaillent les limons et même les marnes sous-jacentes, se sont révélés pollinifères (tableau 20).

Le creusement de tels fossés d'assainissement étant œuvre humaine, il est normal d'enregistrer la forte proportion des pollens d'herbes, surtout dans les niveaux supérieurs, parmi lesquels les Composées Liguliflores sont largement dominantes. Par contre, la distribution des pollens d'arbres est surprenante. Dès la base, l'abondance du Pin confirme l'appartenance à la phase IX mais le haut pourcentage du Sapin et du Hêtre indique que la Hêtraie-Sapinière était encore bien représentée au voisinage du site, sans doute sur les terrasses d'alluvions anciennes qui encerclent le marais.

Cet exemple confirme que l'emprise généralisée du sol par l'Homme s'est réalisée en Limagne alors que la Hêtraie-Sapinière était la formation silvatique essentielle. Il fournit aussi la preuve de l'aménagement très ancien de la Limagne, vraisemblablement dès les temps protohistoriques ; il apporte donc un argument en faveur de l'opinion avancée par M. BOUDET (1890) suivant laquelle les marais de Limagne auraient été « vraisemblablement desséchés au moyen de vastes travaux d'ensemble antérieurs à la conquête, complétés et perfectionnés pendant les trois premiers siècles de notre ère » (p. 383).

b) *L'âge absolu de deux formations organiques*

Parmi les formations superficielles de Limagne que nous avons explorées, nous n'avons rencontré que deux échantillons suffisamment riches en carbone organique pour être soumis à des recherches de datation absolue calculée à partir du taux de désintégration résiduelle du ^{14}C radioactif. Le laboratoire d'électronique physique du Centre d'Études nucléaires de Saclay a bien voulu effectuer ces déterminations délicates qui exigent un matériel spécialisé (1).

α) *Tourbe de Clermont-Ferrand (Les Salins).*

Il s'agit de la partie supérieure d'une formation tourbeuse peu humifiée, mêlée de sédiments sableux et argileux et prélevée lors du creusement de la piscine municipale de Clermont. Dans la coupe observée sur 4 m de puissance, la couche tourbeuse épaisse de 0,4 m est superposée à un limon argilo-calcaire et sous-jacente à un mince banc de sables mi-volcaniques mi-feldspathiques, lui-même surmonté par un mètre de sol grisâtre calcaire et enfin par 0,6 m de sol noir.

Le diagramme pollinique établi (tableau 21) ne commence qu'avec la tourbe et se termine à la base du sol gris. Il est caractérisé d'abord par la dominance permanente des pollens d'herbes sur les pollens forestiers représentés surtout par le Chêne et par le Pin, ensuite par l'abondance du Châtaignier et surtout par celle des Cypéracées et autres aquatiques (essentiellement des *Typha*). Il appartient donc à un stade déjà avancé de la phase IX de FIRBAS. Il indique un site marécageux bordé de pelouses et soumis fortement à l'influence de l'Homme.

L'emprise humaine semble d'ailleurs s'accélérer au cours de la construction de la moitié supérieure de la tourbe, en raison de l'élévation très appréciable des taux de pollens de Châtaignier et de Céréales. La fréquence pollinique du Châtai-

(1) Nous remercions M. LABEYRIE, directeur du Service, et ses collaborateurs qui, malgré la surcharge de leur laboratoire, ont permis de disposer des résultats en temps utile.

TABLEAU 21

Diagramme pollinique de Clermont-Ferrand (Les Salins)

Profondeur en mètres	Nature des sédiments	Phases (Firbas)	*Pinus*	*Betula*	*Quercus*	*Ulmus*	*Tilia*	*Fraxinus*	*Alnus*	*Fagus*	*Abies*	Σ. A. P.	*Corylus*	*Salix*	*Castanea*	*Juglans*	Céréales	Graminées	Liguliflores	Composées Autres	Chénopodiacées	Plantaginacées	Ombellifères	Varia	Σ. N. A. P.	Cypéracées	Autres aquatiques	Indéterminés	Pollens inventoriés	Spores
1,45-1,50	sol argilo-calcaire		29	4	46	2	1	1	7	3	7	*112*	4	9	61	17	45	336	41	21	149	16	9	37	654	217	87	80	*1 374*	435
1,75-1,80			30	6	43				6	7	8	*101*	8	9	32	1	21	115	10	12	20	14	3	20	215	228	125	37	*660*	274
1,85-1,90	tourbe	IX	11	16	49			2	4	12	6	*120*	8	3	26	4	6	85	5	16	8	3	5	28	156	366	130	46	*997*	453
1,95-2,00			32	13	35			1	5	9	5	*139*	3	1	19	1	4	91	13	11	14	1	1	24	159	382	486	27	*1 626*	354
2,05-2,10			24	14	31	3			7	14	7	*58*	9		2	5	+	43	137	3	21		3	7	214	428	248	28	*610*	334

gnier est tout à fait exceptionnelle et implique à proximité l'existence de peuplements de cette essence nécessairement localisés sur les sols non carbonatés des coulées basaltiques voisines : celle de Beaumont-Saint-Jacques et celle des Galoubies-Les Roches. Les pollens forestiers doivent probablement leur persistance au maintien de la forêt sur les flancs de l'amphithéâtre clermontois, en particulier sur les pentes du puy de Montaudou et de l'escarpement de faille limagnais.

La mesure du radiocarbone assigne une ancienneté de 900 ± 120 ans à la partie supérieure de cette tourbe. Elle confirme ainsi les résultats de l'analyse pollinique puisque la phase X de FIRBAS caractérisée par la dominance du Pin sur le Chêne serait postérieure au Moyen Age.

Cette indication de chronologie absolue souligne également l'ampleur du colluvionnement dans le district urbain actuel de Clermont et dans un secteur à peu près complètement indépendant des ruissellements prenant naissance dans la région des Dômes. Ces accumulations de sols ne peuvent donc que provenir des terroirs locaux rendus sensibles à l'érosion par une exploitation agricole trop intense et insuffisamment pastorale.

β) *Anmoor de Marmillat* (*profil* 3106).

C'est une couche très humifiée épaisse de 0,06 m et enfouie sous 1,5 m de colluvions terreuses. Les caractères des matières organiques figurent au tableau 7 (3106 g) (p. 66). L'analyse pollinique place ce niveau dans la phase VII de FIRBAS (cf. fig. 24 p. 134).

Le taux de désintégration résiduelle du ^{14}C permet d'attribuer à cette formation un âge absolu de 5 400 ± 300 ans. Cette mesure apporte ainsi une précision sur la date d'apparition en Limagne du Hêtre et du Sapin, contemporaine de la mise en place de l'anmoor. A cet égard, elle confirme les indications chronologiques antérieures de G. LEMÉE (1956 *b*) et de G. LANG et W. TRAUTMANN (1961) sur l'arrivée et l'extension du Sapin dans les Monts Dore. Enfin, elle est en accord avec la datation donnée à la phase VII de FIRBAS par H. GROSS (1958).

C. — Application : Les divers renseignements datés

Pour dater la mise en place des formations alluviales ou colluviales de la Limagne marno-calcaire, nous disposons de plusieurs sources de documents permettant des recoupements réciproques.

1°) DOCUMENTS PALÉOBOTANIQUES

Après avoir préalablement défini les phases évolutives de la couverture limagnaise, nous avons donc utilisé l'analyse pollinique pour dégager des corrélations chronologiques entre les formations pollinifères.

Pour les raisons exposées antérieurement, les pollens se sont mal conservés dans tous les sols peu profonds, de genèse essentiellement autochtone. Ainsi, dans l'axe de la plaine, nous n'avons trouvé que des échantillons stériles, y compris dans les « marais » de Boucé, de Saint-André-le-Coq, du Cheix-sur-Morge, de Clerlande, de Chappes, d'Ennezat et de Riom.

Par contre, dans le Pays des Buttes, le relief plus accusé a nourri parfois d'épais

TAB

Diagrammes pollini

Référence	Profondeur en mètres	Nature des sédiments	Phases (FIRBAS)	*Pinus*	*Betula*	*Quercus*	*Ulmus*	*Tilia*	*Fraxinus*	*Alnus*	*Fagus*	*Abies*
	0,4		IX	13	22	55	5			3		3
	0,65			15	8	42			3	18	3	8
2991	0,9	sol argilo-	VIII	1	2	40	2	+	+	5	40	9
(Centre)	1,1	calcaire		3	1	40	+	+	2	5	42	8
	1,4			7	3	43	2	2	+	9	28	6
	1,5		VII	7	5	46	1		1	9	24	7
	2,0			3	3	51	1	2		8	26	6
	0,3		IX	11	5	22	2			6	42	12
	0,5	sol argilo-		3	2	16	1	+		8	50	21
	0,7	calcaire	VIII	3	1	29			+	4	54	11
	0,9			4	2	30		1	1	9	35	16
3115												
(Nord)	1,1	sables		13	2	51	3	7	3	8	11	2
			VII									
	1,4	sol sableux		27	1	45	4	15	2	3	2	

sols colluviaux de piémont, partiellement pollinifères. De même, quelques dépôts alluviaux ou quelques sols sur alluvions nous ont procuré des échantillons utilisables bien qu'isolés.

a) *Le marais de Sarlième*

La partie sud de l'ancien lac de Sarlième a fourni l'un de nos diagrammes de référence (cf. fig. 23, p. 131). Dans le but de contrôler la valeur de nos premiers résultats, nous avons effectué d'autres sondages au centre et au nord de ce marais et nous avons alors rencontré des alluvions sableuses pauvres en pollens, sinon totalement stériles, qui ont limité nos investigations.

Le profil le plus central (2991) comprend en effet :

— 0,7 m de sol argileux fortement calcaire, caractérisé à la base par un horizon plus foncé.
— 1,5 m de sol argilo-calcaire grisâtre.
— 1,7 m de sables fins, noirs rougeâtres, de nature essentiellement volcanique.
— 1,3 m de limon argilo-calcaire bleu verdâtre.
— enfin, le substratum de marne beige dans laquelle la sonde n'a pénétré que sur 0,2 m.

22

marais de Sarlève

Σ A. P.	*Corylus*	*Salix*	*Castanea*	*Juglans*	Céréales	Graminées	Composées		Chénopodiacées	Plantaginacées	Ombellifères	Varia	Σ N. A. P.	Cypéracées	Autres aquatiques	Indéterminés	Pollens inventoriés	Spores
							Liguliflores	Autres										
40	10				25	68	8		70				171	2	38	15	*130*	20
60	5			1	23	52	11		120			3	210	18	24	7	*219*	10
54	17	+			2	8	1		9	1		1	22	5		5	*379*	1
15	9				+	2			3	1			6	1		6	*862*	2
60	13				1	2	1	+	8	+	+	+	13	3		8	*896*	5
25	27		1		2	10	1	2	24	1			40	12	1	8	*436*	1
00	21		+		1	11	1	2	4	2		+	21	4	+	8	*465*	1
22	12		+		7	13	18	+	26	3		2	70	15	18	13	*279*	103
02	15				+	3	1		3	1			8	2	1	6	*267*	33
36	15				+	4			1	1			6	2	+	4	*425*	24
33	19				+	5	+	1	21			1	29	3	+	5	*518*	53
51	35	2	+		4	11	7	2	16	8	2	4	50	13	+	12	*307*	152
17	24	2			1	16	18	4	13	10		4	66	18		8	*255*	225

Le profil nord (3115) présente une disposition semblable mais possède, intercalés à la base du sol, des lits sableux dont le plus important est épais de 0,3 m.

— 0,35 m de sol argileux et calcaire, gris foncé.
— 0,6 m de sol argilo-calcaire gris.
— 0,3 m de sables micacés et volcaniques,
— 0,65 m de sol argileux brunâtre moins calcaire et peu pollinifère.
— 1,6 m de sables, surtout cristallins au sommet puis franchement volcaniques, lardés de strates de limon bleuâtre.
— 0,8 m de limon verdâtre qui passe à la marne en place vers 4,3 m.

Les diagrammes polliniques obtenus à partir de ces 2 profils (2991 et 3115) sont semblables à celui du profil de référence, en particulier à leur partie supérieure ; les divergences traduisent en fait des décalages dans la nature de la sédimentation (tableau 22).

En effet, après le dépôt des limons, la sédimentation lacustre est représentée par des vases dans la zone sud du marais, et par des sables au centre et au nord, qui sont contemporains des phases V, VI et VII. Le dernier changement important dans la nature des sédiments, c'est-à-dire la mise en place des alluvions terreuses, composées d'agrégats particulaires provenant de sols structurés, se place vers la fin

de la phase VII, soit approximativement au cours du quatrième millénaire avant notre ère. Ensuite, dans les trois diagrammes, le niveau du sol le plus profond coïncide avec la limite entre les phases VIII et IX.

b) *Le marais de Lempdes*

Pour les mêmes raisons, nous avons réalisé dans le petit marais de Lempdes trois autres sondages qui encadrent le profil de Marmillat décrit précédemment (cf. p. 133, profil 3106).

Deux d'entre eux sont situés à l'ouest du marais, face à l'entrée de l'usine d'aviation d'Aulnat, au lieu-dit « les Noyers ». Le premier (2997) a traversé 2,5 m de sol noir à anmoor à sa base, et a été arrêté à 3,1 m dans la vase blanchâtre chargée de Diatomées. Le second (3051) décalé d'une centaine de mètres vers le nord n'a également pas rencontré le substratum marneux en place bien qu'il ait été poursuivi jusqu'à 6,2 m de profondeur ; il est composé de 2,3 m de sol noir, à anmoor enterré, de 2,9 m de vase blanchâtre puis grise foncée, enfin de 1,0 m de limon.

Le troisième sondage (2998) provient au contraire de la zone orientale du marais, dans sa partie étroite, au lieu-dit « Pré-de-Gondole ». En ce point, la faible intensité du colluvionnement a réduit nettement l'épaisseur des différentes couches puisque nous avons trouvé 0,7 m de sol présentant quelques agrégats de terre cuite entre 0,3 et 0,5 m, puis 0, 55 m de vase grise foncée, enfin, 0,65 m de limon reposant sur la marne en place à 1,9 m.

Ces trois nouveaux sondages confirment donc la disposition stratigraphique relevée à Marmillat (3106) à l'exception du niveau d'agrégats rouges cuits par le feu qui n'existe pas à l'ouest. Ce détail n'est pas surprenant, car la butte de « la Quartelée » constitue un relief qui scinde en deux le marais de Lempdes et crée ainsi une discontinuité stratigraphique dans la mise en place des couches vaseuses et humifères.

Dans les diagrammes 2997 et surtout 3051 (tableau 23), on retrouve sans ambiguïté les phases caractéristiques de l'évolution paléobotanique limagnaise. Il n'en va pas de même pour le dernier diagramme où nous avons assimilé la vase à Diatomées à la phase VI en raison de sa richesse en pollens de *Quercus*, de *Corylus* et de Chénopodiacées ; l'anmoor à la phase VII parce que les constituants de la Hêtraie-Sapinière sont déjà apparus et que le Coudrier est toujours abondant ; enfin, dans le niveau supérieur, le nombre de pollens d'arbres inventoriés est trop faible pour définir un spectre valable mais suffisant pour indiquer la forte prépondérance pollinique des herbes, caractéristique de la phase IX.

Entre l'est et l'ouest du marais de Sarlièvre, nous observons donc un léger décalage chronologique dans la mise en place des sédiments. En effet, dans les profils occidentaux 2997 et 3051, l'épisode de la vase à Diatomées qui marque la fin de la sédimentation infra-aquatique survient à la phase VII et non à la phase VI comme en 2998 ; de même, l'anmoor qui traduit la conquête de la nappe d'eau par la végétation s'est élaborée au début de la phase VIII à l'ouest et au cours de la phase VII à l'est. Selon toute vraisemblance, ces constatations résultent de l'épaisseur différente du colluvionnement. C'est-à-dire, finalement, de l'environnement topographique qui n'est pas comparable : la partie occidentale se trouvant immédiatement au pied

TABLEAU 23

Diagrammes polliniques du marais de Lempdes

Référence	Profondeur en mètres	Nature des sédiments	Phases (FIRBAS)	*Pinus*	*Betula*	*Quercus*	*Ulmus*	*Tilia*	*Fraxinus*	*Alnus*	*Fagus*	*Abies*	Σ A. P.	*Corylus*	*Salix*	*Castanea*	Céréales	Graminées	Composées Liguliflores	Composées Autres	Chénopodiacées	Plantaginacées	Ombellifères	Varia	Σ N. A. P.	Cyperacées	Autres aquatiques	Indéterminés	Pollens inventoriés	Spores
2997 (Ouest)	1,9	sol noir	VIII	11	2	16	2	2		5	20	44	*124*	7	2		3	34	16	2	10	8	4	4	81	112	29	10	*424*	244
	2,4	anmoor		12	2	24	1	3	1	17	22	16	*132*	11	3	3	2	30	4	5	10	16	3	5	60	17	19	16	*297*	328
	3,0	vase à diatomées	VII	4	4	49	3	5	1	12	14	6	*241*	44	1		1	13	+	2	+	2	2	+	20		7	3	*420*	5
3051 (Ouest)	0,9	sol noir	VIII	11	6	18	2	+	+	4	25	37	*170*	10	+		11	27	18	5	32	4	+	2	100	73	80	11	*632*	468
	1,3			17	1	10	3	1		12	19	37	*87*	8			8	33	16	+	14	2		4	78	66	70	13	*391*	328
	2,1	anmoor		10	1	30	4	2	1	7	15	32	*111*	7	1		7	25	2	8	4	10	2	3	60	30	52	12	*292*	24
	3,0	vase à diatomées	VII	3	6	50	2	2	+	18	16	3	*252*	32	1		5	16	1	4	+	2	+	1	30	5	11	9	*474*	11
	3,6			3	3	61	6	7		12	7	2	*221*	45			+	5		3	+	+		+	10		4	7	*367*	3
	4,6	vase grise	VI	11	2	64	6	14		3	+		*217*	90	+			8		4	1	2		1	16	2	1	9	*476*	2
	5,0			24	1	64	5	5	+	1			*243*	57				7	1	4	12	1		1	27	5	4	7	*482*	5
2998 (Est)	0,4	sol noir	IX										*21*												400				*152*	
	0,65	anmoor	VII	12	2	62	9	7	1	6	+	3	*119*	77	1			19	20	6	3	1		3	62	13	48	8	*355*	45
	1,0	vase à diatomées	VI	3	+	81	15	2					*125*	178				14	13	4	19			1	51	7	9	7	*436*	6

des coteaux de Gandaillat tandis que la zone orientale est nettement plus éloignée des sources de colluvions.

Compte tenu de ces fluctuations chronologiques, les « Terres Noires », qui diffèrent des vases et limons sous-jacents par la stabilité de leur structure, ont commencé d'être colluvionnées dans le marais de Lempdes à partir de la phase VII, sensiblement au moment de l'apparition du Hêtre et du Sapin, elle-même contemporaine des premiers indices de l'action humaine. Le début de ce transport remonterait donc à 5 000-6 000 ans, c'est-à-dire au Néolithique.

Discussion.

Les quelques analyses polliniques effectuées en Limagne par G. Lemée (in A. Rudel et G. Lemée, 1955, p. 32-34) proviennent du marais de Lempdes et nous imposent de faire la synthèse des résultats.

L'un des diagrammes de G. Lemée (n° 143) a été établi, lui aussi, à partir d'échantillons prélevés au lieu-dit « les Noyers ». Il est très semblable à nos diagrammes 2997 et 3051 bien que l'anmoor analysée par G. Lemée soit à situer vers la fin de la phase VII puisque le Chêne y conserve la supériorité pollinique sur le Hêtre et le Sapin. Notre interprétation concorde avec celle de G. Lemée qui assigne « une ancienneté maximum de 5 000 ans environ » à la vase à Diatomées et une « date antérieure à l'âge du Fer » pour le niveau humique.

Par contre, des divergences existent quant à l'interprétation du second diagramme provenant de Marmillat. Les spectres de la vase grise analysée par G. Lemée confirment nos résultats en marquant l'abondance relative des pollens d'herbes et l'extrême prolifération du Coudrier mais ils placent par contre le Pin avant le Chêne. Selon nous, une telle représentation correspond sensiblement à la fin de la phase V, mais non à la fin de la dernière glaciation. Il est évident que l'important pourcentage des pollens d'herbes pourrait justifier l'interprétation d'une couverture végétale d'âge tardiglaciaire mais nous avons expliqué précédemment (p. 136) pourquoi nous avons finalement subordonné une telle abondance aux caractéristiques du spectre forestier.

c) *Les sols sur limons*

Dans le marais de Lignat situé entre Billom et Pérignat-ès-Allier et dans une petite cuvette endoréique proche du bourg du Cendre, nous avons trouvé deux profils pollinifères dans leurs parties profondes (tableau 24).

Dans tous les échantillons analysés, nous avons constaté la prédominance des pollens d'herbes sur les pollens d'arbres. A Lignat, le spectre des pollens forestiers est fluctuant et suivant les niveaux, le Pin, le Sapin ou le Chêne dominent, mais l'importance des pollens de Céréales, de Graminées et Composées prairiales, de Chénopodiacées parfois, prouve que l'influence humaine est à l'origine des modifications de la flore. Le taux nettement plus faible des herbes à la base du profil est l'indice que la mise en place de ce niveau coïncide avec le début des défrichements généralisés. Les analyses effectuées au Cendre aboutissent aux mêmes conclusions : l'accumulation de la « Terre Noire » est contemporaine de l'occupation humaine du sol.

d) *Les sols sur alluvions récentes*

Dans les alluvions grossières formées de sables dont le diamètre est supérieur à 0,2 mm, nous avons trouvé des pollens fortement altérés présentant des membranes

TABLEAU 24

Diagrammes polliniques de sols sur limon

Profondeur en mètres	Nature des sédiments	Phases (FIRBAS)	*Pinus*	*Betula*	*Quercus*	*Ulmus*	*Tilia*	*Fraxinus*	*Alnus*	*Fagus*	*Abies*	Σ A. P.	*Corylus*	*Salix*	*Castanea*	*Juglans*	Céréales	Graminées	Composées : Liguliflores	Composées : Autres	Chénopodiacées	Plantaginacées	Ombellifères	Varia	Σ N. A. P.	Cyperacées	Autres aquatiques	Indéterminés	Pollens inventoriés	Spores
												Lignat 3066																		
0,8			33	4	19	24	2		6	5	6	*85*	11			2	60	230	260	10	40	15		40	645	450	65	30	*1 109*	235
1,0	sol argilo-		43	2	11	17			11	+	17	*94*	27		2		25	140	182	+	22	11		30	410	250	11	39	*788*	125
1,4	calcaire		17	2	20	23		5	10	7	17	*118*	9				43	223	170	10	120	7	3	6	582	203	13	43	*1 121*	90
1,8			17	1	32	13			20	8	8	*121*	21				21	135	86	2	23	5		26	295	147	14	41	*748*	130
1,95	(tourbeux)	IX	27	6	39	4			10	9	5	*101*	8		3		3	81	96	15	3		2	+	201	273	81	36	*707*	195
2,2			34	+	21	2			5	10	28	*105*	6				+	102	223	5	45			20	405	286	86	8	*935*	260
2,35			31	5	8	5			6	5	40	*99*	43				8	80	200	20	20				328	240	180	18	*901*	302
2,45			36	2	12	8	2		8	2	33	*132*	38				2	27	30	1	+				60	35	278	20	*698*	228
2,5	transition	VIII																												
												Le Cendre 3065																		
1,0	sol noir		25	2	33	5	12		4	8	10	*96*	33				16	90	330	45	82	45			608	91	53	18	*867*	325
1,2			29	3	9	3	29		15	3	9	*99*	18				12	73	294	41	95				515	114	32	23	*794*	277
1,55		IX	15	4	23	5	4		11	10	27	*115*	47	3		2	5	87	268	47	113	16		+	538	102	55	42	*1 092*	*355*
1,75			40	5	21	4	6		4	8	12	*107*	28		1		21	60	105	3	21	3			213	34	26	39	*471*	87
1,85	transition																													

Diagrammes polliniqu

Référence	Profondeur en mètres	Nature des sédiments	Phases (Firbas)	*Pinus*	*Betula*	*Quercus*	*Ulmus*	*Tilia*	*Fraxinus*	*Alnus*	*Fagus*	*Abies*
3098	0,95	sol noir	VIII	20	+	29	4			4	12	32
	1,15			24	1	21	6			3	20	25
	1,4	sables volcaniques	VII	21	6	35	10	1		4	10	14
	1,75			23	4	49	16			7		
3097	0,75	sol noir	IX	53	3	9	+			3	2	29
	0,85											
	1,0	sables volcaniques	VII	40	9	33	+			2	13	4
3001	1,1	sol noir	VII/VIII	25	1	32	2	4	1	7	19	9
	1,25	transition sableuse										
3104	0,2	sol sableux	IX	58	3	16	13	3		2	1	3
	0,25			50	6	24	11	1				4
	0,3			30	2	20	15	10	8	13	4	+
	0,32	sables et galets										
2339	0,4	sol sableux	IX									
	0,6		VIII	5	3	15	+	1	2	12	23	38
	0,65	sables										

déchirées ou percées ; de tels dégâts résultent vraisemblablement d'une détérioration mécanique au cours du transport. Faute de documents sur la résistance relative des pollens à une telle altération, il nous est impossible d'interpréter les spectres fournis par les rares pollens identifiés ; nous avons donc renoncé à en tirer parti.

Par contre, dans quelques sables très fins et dans les sols qui les surmontent, nous avons rencontré parfois des pollens non altérés.

Ainsi, le long de l'Artières, sur le territoire de Pont-du-Château nous avons rencontré deux profils utilisables.

— Le premier (3098) est situé sur la rive gauche de l'Artières, à environ 1 km au nord du pont de la route de Malintrat ; il comprend 1,2 m de sol noir superposé à 0,65 m de sables volcaniques fins qui reposent sur un limon grisâtre.

Dans le second (3097), distant de 300 m à l'est du précédent mais sur la rive

25

ols sur alluvions

Σ A. P.	*Corylus*	*Salix*	*Castanea*	*Juglans*	Céréales	Graminées	Composées		Chénopodiacées	Plantaginacées	Ombellifères	Varia	Σ A. P.	Cypéracées	Autres aquatiques	Indéterminés	Pollens inventoriés	Spores
							Autres	Liguliflores										
84	14				10	14	72	17	28			2	145	28	8	19	*264*	95
89	34		3	1	10	37	27	2	16	1		4	97	28	45	14	*288*	48
71	23	4	2		4	44	25	7	10	7	2	9	108	37	17	14	*218*	34
73	22					21	8	5	19			+	63	2	20	19	*165*	34
88	8	8	8	6	17	54	415	26	48	2		26	588	36	75	18	*657*	552
25	10	1	10		4	19	30	10	18	3	6	20	110	32	18	19	*378*	130
59	25				4	34	13	2	2	4	+	5	64	22	16	23	*358*	24
91	4	3	+	11	52	83	308	5	253	1		29	720	6		42	*807*	189
80	8	8	2	2	81	124	212	16	320	5	4	51	810	8		44	*787*	124
46	22	4			44	118	326	32	159	4		65	745	6		43	*424*	178
32					57	66	247	60	12			6	428	+	82	30	*205*	430
78	20	2	1	3	5	34	43	2	4	6	2	4	100	3	26	25	*498*	610

droite, l'accumulation sableuse ne doit rien à l'Artières puisque placée au-dessus du lit majeur. Nous n'en avons tiré que deux niveaux quelque peu pollinifères.

De même, à Gerzat, dans le lit majeur du Bédat, nous avons découvert un échantillon pollinifère à la base du sol argileux superposé aux alluvions (3001).

Enfin, sur les terrasses qui entourent le marais de Sarlièvе, au nord (cône de l'Artières, 3104) et à l'est (2339), les sols nous ont livré également quelques pollens.

Ces divers résultats sont groupés au tableau 25.

Les spectres de Pont-du-Château contiennent des pollens de Sapin et de Hêtre, excepté dans un niveau où les constituants de la Chênaie-mixte dominent nettement. Malgré l'abondance du Pin constatée dans le profil 3097, le dépôt de ces sables est contemporain de la phase VII, mais le taux élevé des pollens d'herbes, en parti-

culier des Chénopodiacées, des Graminées et la présence des Céréales et du Châtaignier attestent que l'Homme était déjà implanté aux abords du site.

La présence du Châtaignier au centre de la plaine est surprenante ; plutôt que d'envisager pour ce pollen une origine lointaine, par exemple l'escarpement de faille occidental, nous pensons que des peuplements de Châtaignier ont existé sur les terrasses de l'Allier, aux sols fréquemment décarbonatés, en particulier au nord de Pont-du-Château précisément.

Le sol s'est ensuite accumulé pendant et après la phase de la Hêtraie-Sapinière tandis que l'influence humaine s'est intensifiée.

Le spectre de Gerzat (3001) est concordant puisque l'accumulation du sol a débuté à la fin de la phase VII caractérisée par la faible domination pollinique du Chêne sur le Hêtre et le Sapin, et par la présence des Céréales.

A Sarlième, l'analyse pollinique fixe le transport des sols à la phase IX, nettement caractérisée au profil 3104. Elle indique un âge plus ancien pour la base du profil 2339 qui date de la Hêtraie-Sapinière (phase VIII).

2°) Documents archéologiques

Les vestiges archéologiques présentent une valeur stratigraphique lorsqu'ils concernent des objets abandonnés à la surface du sol et enfouis par des dépôts ultérieurs. Si ces objets sont datés, ils fournissent des indications précieuses sur l'époque de leur ensevelissement et sur la puissance de l'accumulation postérieure.

Malheureusement, la description stratigraphique détaillée du gisement manque pour de nombreuses découvertes. De plus, en Limagne, « les couches archéologiques, à cause de la profondeur à laquelle elles se trouvent ne sont atteintes qu'à l'occasion de travaux exceptionnels » (G. Fournier, 1960, p. 132). Enfin, de tels documents n'existent guère qu'à partir de l'époque gallo-romaine, c'est-à-dire depuis la période historique.

a) *Le niveau gallo-romain de Baude*

Rappelons pour mémoire que nous avons étudié les vestiges polliniques de ce gisement dans un chapitre antérieur (p. 143). En ce point, le sol est épais de 1,5 m et les débris gallo-romains composés de briques, poteries, ossements, pierres (marbre) s'étagent entre les profondeurs de 1,1 et 1,45 m. En conséquence, nous pouvons affirmer que le colluvionnement du sol est ici entièrement postérieur à l'époque gallo-romaine.

b) *Les niveaux gallo-romains de Clermont-Ferrand*

Nous disposons de plusieurs observations effectuées sur des fouilles d'habitations dans les quartiers de Clermont qui jalonnent le tracé de la Tiretaine et du ruisseau des Tanneurs, vallons possédant d'épais sols colluviaux.

En particulier, A. Perreau (1937) fournit des indications stratigraphiques précises : « entre le pont de Naud et l'immeuble 12 du boulevard Fleury, cette couche (gallo-romaine)... est enfouie à près de 3 m sous le niveau actuel de la chaussée et atteint une épaisseur moyenne de 65 cm » (p. 105). Le même auteur décrit un autre profil au groupe scolaire Paul Bert où « sous le bâtiment de l'école de garçons, le niveau inférieur de la couche archéologique est situé à 1,80 m environ et repose

directement sur les calcaires marneux qui constituent le substratum géologique de ce quartier » (p. 106). Il ajoute encore qu' « au carrefour de l'Esplanade, la couche archéologique, remaniée par places, est comprise entre 0,65 m et 3,5 m, dépassant même en certains points la profondeur de 4 m où elle repose alors sur la marne » (p. 106).

A. RUDEL (1952) rapporte une observation semblable faite avenue de Boisséjour où les poteries gallo-romaines sont à la base d'un sol de 2 m d'épaisseur.

c) *Les poteries du marais de Saint-André-le-Coq*

Au cours de nos prospections, nous avons rencontré en deux points du marais de Saint-André-le-Coq, des briques et des poteries, principalement représentées par des tuiles à rebords.

La première localité se trouve en bordure du chemin qui relie Saint-Ignat et Surat. Le sol noir y est épais de 0,60 m et contient à sa base des tuiles à rebords presque intactes ; selon P. F. FOURNIER (1) ces tuiles d'un type particulier pourraient dater d'une époque plus récente que le gallo-romain, et même du Haut Moyen Age(2).

Le second gisement est situé aussi à la périphérie du marais, à 500 m au sud-ouest du village de Pagnan. En suivant un fossé d'assainissement récemment creusé nous avons trouvé plusieurs tessons de briques et de céramiques gallo-romaines, enterrés entre 0,4 et 0,6 m, soit en moyenne à 0,2 m au-dessus de la base du sol.

Ces observations confirment donc la généralisation du colluvionnement qui s'est produit en Limagne depuis l'époque gallo-romaine.

D. — Conclusions : l'âge des formations superficielles pollinifères de Limagne

De l'ensemble des renseignements chronologiques que nous sommes parvenu à rassembler, il se dégage des conclusions concordantes relatives aux remaniements qui ont affecté les formations superficielles de la Limagne au cours du Quaternaire récent.

1°) LES LIMONS

La mise en place des limons a été datée directement par des analyses polliniques seulement dans les niveaux supérieurs qui forment la transition avec les vases lacustres sus-jacentes observées à Sarlième et à Marmillat. Les diagrammes obtenus en ces deux sites privilégiés assignent aux limons un âge antérieur à la phase IV de G. FIRBAS avec laquelle débute le Postglaciaire. Les limons représentent donc la première formation de remblaiement ayant succédé au creusement glaciaire ; *nous les considérons comme caractéristiques du Tardiglaciaire.*

2°) LES ALLUVIONS ET LES VASES

Les plus anciens sédiments datés par l'analyse pollinique sont les vases lacustres de Sarlième et de Marmillat qui passent latéralement à des sables vers le débouché des émissaires où les eaux sont moins calmes. Tous les dépôts pollinifères de cette

(1) Communication orale.
(2) Le toit de l'église d'Orcival (XIIe-XIIIe siècle) a été couvert de tuiles à rebords (M. JARRIER, 1943)

nature sont contemporains des phases IV, V, VI et VII ; *ils sont donc d'âge préboréal, boréal et atlantique*, c'est-à-dire qu'ils se sont mis en place au cours du réchauffement et de l'optimum climatique postglaciaire tandis que la Limagne se couvrait progressivement de forêts et que la pédogenèse devenait, de ce fait, plus active.

La phase finale de l'alluvionnement sableux est le plus souvent formée d'éléments volcaniques, fins et rougeâtres. Que ce soit à Sarlième ou à Pont-du-Château, le sommet de ces sables s'est déposé à la fin de la phase VII alors qu'étaient déjà apparus les pollens de Hêtre, de Sapin et ceux de Céréales, contemporains du Néolithique.

3°) Les sols

En ce qui concerne les sols, il est nécessaire de rappeler que les pollens ne s'étant pas conservés dans les sols autochtones de Limagne, l'analyse pollinique révèle donc la date de leurs remaniements évidemment postérieurs à leur formation.

De la quinzaine de profils étudiés, il ressort que l'accumulation des sols a commencé parfois à la phase IX (Le Cendre et cône de l'Artières à Sarlième) ; le plus souvent, elle est contemporaine de la phase VIII (Lignat-Pont-du-Château-Gerzat-terrasse de Sarlième) ; enfin, elle remonte jusqu'à la phase VII en certains points des marais de Sarlième et de Lempdes. Même dans ces dates les plus lointaines, le colluvionnement du sol a débuté alors que le Hêtre et le Sapin étaient déjà apparus en Limagne. En nous référant à l'âge absolu de l'anmoor de Marmillat dont la formation est précisément contemporaine de cette époque, nous pouvons donc assigner *une ancienneté maximum guère supérieure à* 5 000 *ans au transport des sols de Limagne.*

D'autre part, si l'on excepte le marais de Sarlième occupé par une nappe d'eau libre jusqu'à une période récente, on remarque que l'épaisseur du sol accumulé au cours de la phase IX est le plus souvent très supérieure à celle transportée antérieurement. Les données fournies par l'archéologie confirment nettement ce fait.

En conclusion, nous disposons de preuves suffisantes pour avancer que l'érosion et le transport des sols de Limagne ont timidement débuté au Néolithique, à la fin de la phase de la Chênaie-mixte, approximativement au moment où sont apparus les premiers symptômes de l'agriculture et de l'élevage caractérisés par la présence de pollens de Céréales et par l'augmentation relative des pollens d'espèces prairiales et rudérales.

Ensuite, tandis que la forêt limagnaise a évolué vers la domination de la Hêtraie-Sapinière sur la Chênaie, l'activité agricole de l'Homme a lentement progressé jusqu'à la prise de possession définitive et quasi complète du sol qui a marqué l'âge du Fer.

A partir de cette dernière période, le remplacement généralisé de la forêt par la prairie et par le champ labouré a fortement modifié l'équilibre pédo-climatique au bénéfice de l'érosion provoquant le second cycle de remblaiements colluviaux effectués principalement aux dépens des sols des versants. La grande épaisseur moyenne des sols de la plaine de Limagne résulte donc essentiellement d'une érosion anthropique.

CHAPITRE IX

ÉTUDE PARTICULIÈRE DE LA RÉGION DE SARLIÈVE

Pour étudier les événements qui ont marqué en Limagne la fin du Quaternaire, la région de Sarlième est assurément l'une de celles qui présentent le plus d'intérêt car un grand nombre de témoignages s'y trouvent rassemblés sur une faible étendue. En particulier, la présence du cône alluvial de l'Artières, singulière par sa position haute au-dessus de la plaine, a donné lieu à de nombreuses observations et interprétations afférentes.

1°) Les faits

L'extrémité aval du cône de l'Artières a alimenté pendant longtemps des carrières de sables dont quelques-unes étaient encore en exploitation vers 1948-1950. Ces sablières ont apporté des renseignements sur la structure de la nappe alluviale en même temps qu'elles ont fourni des vestiges paléontologiques et archéologiques. Malgré les importantes décharges d'ordures et de déblais de construction déposées depuis trente ans, nous avons pu vérifier et compléter les indications antérieures (fig. 25).

a) *Documents physiques*

Nos observations personnelles confirment la description donnée par A. Rudel et G. Lemée (1955) concernant la structure du cône alluvial qui comprend de la base au sommet :

1. — Des sables grossiers de nature principalement feldspathique, colorés par les oxydes de fer précipités localement en nodules de limonite ;

2. — Un limon argilo-calcaire qui acquiert une structure prismée par dessiccation ;

3. — Une formation alluviale hétérogène qui se compose à la base d'assises de sables fins cimentés par des oxydes de fer et par des traces d'hydrocarbures ; ces grès sont cassés, débités en plaques souvent redressées ou disposées en corbeilles. Au-dessus des assises sableuses, on passe par un contact festonné à des alluvions hétérométriques comprenant des galets de basalte et des roches granitoïdes, parfois gros comme la tête, mêlés à des sables, le tout enrobé par de la calcite lessivée du sol sus-jacent ;

4. — Le cône alluvial est recouvert par un sol carbonaté peu argileux, ayant l'aspect d'une « Terre Noire » amendée par des sables.

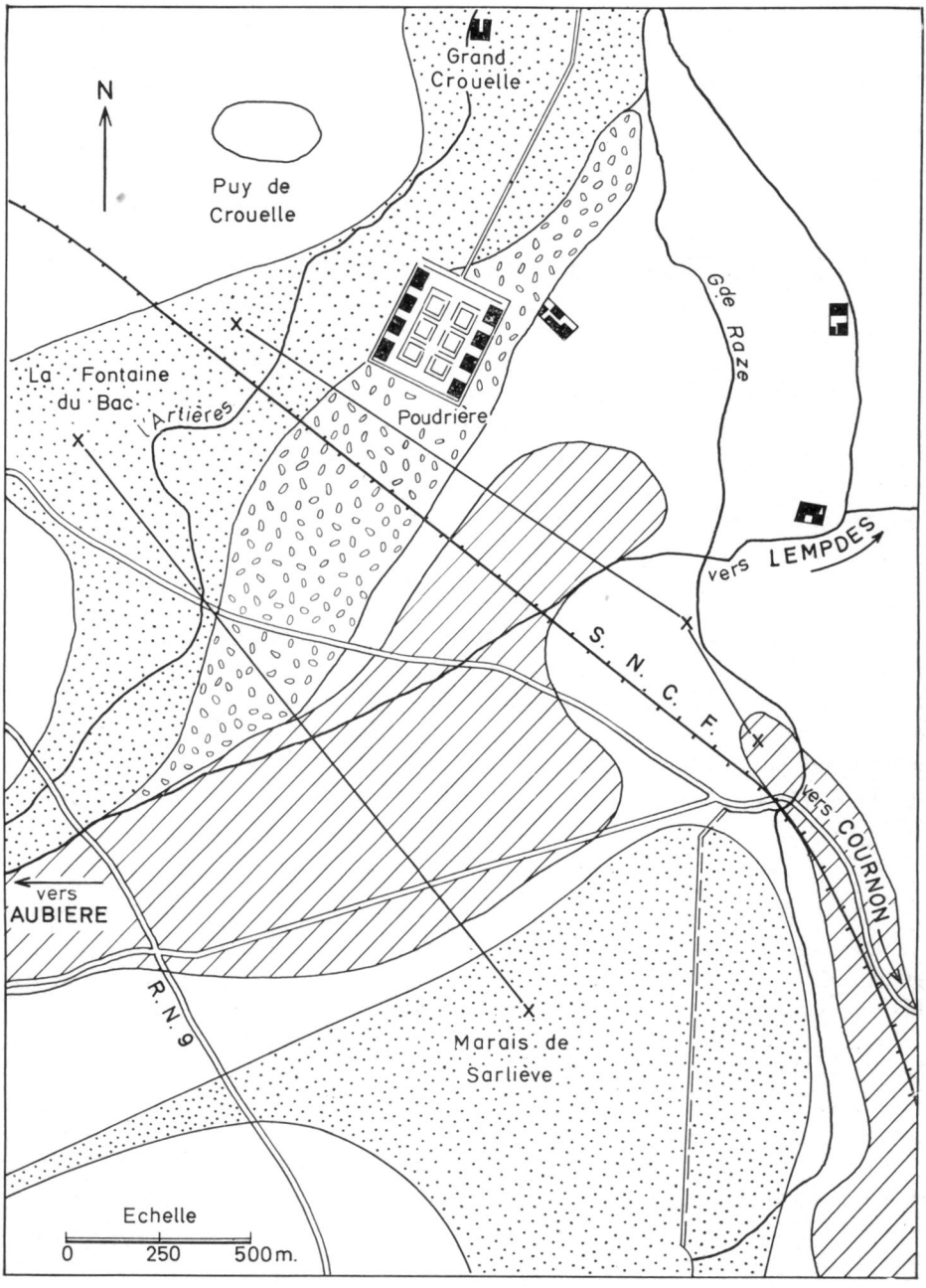


FIG. 25. — *Environs du cône de l'Artières.*

L'ensemble de nos relevés et les observations communiquées oralement par D. COLLIER attribuent aux 3 couches supérieures une épaisseur comprise entre 0,8 et 2 m. L. GLANGEAUD (1940) donne à la série complète une puissance de 3 m.

Vers l'extrémité nord-orientale du cône, les assises 2 et 3 ont disparu et le sol repose directement sur les sables. Sans doute est-ce là l'une des raisons essentielles de l'implantation préférentielle des carrières.

Quant à l'épaisseur des sables feldspathiques, A. VERGNETTE (1927) indique un maximum de 8 m et L. GLANGEAUD, 7 à 10 m. Nous n'avons pas de renseignements personnels car, à la tarière pédologique, nous ne sommes parvenu que sur les bords du cône à traverser cette formation. La texture grossière des sables feldspathiques et la présence d'une nappe phréatique rendent impossible le creusement de la che-

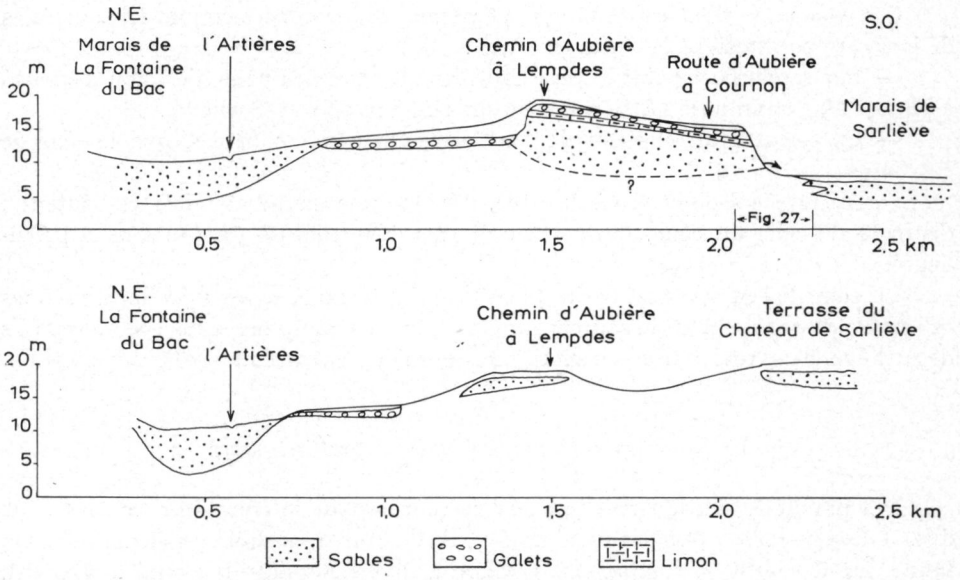


FIG. 26. — *Coupes transversales du cône de l'Artières*

minée du sondage, sans cesse rebouchée. Au nord-est de la voie ferrée Clermont-Nîmes, la couche de sables ne dépasse pas 2,30 m.

De part et d'autre du cône de l'Artières, se trouvent les deux points bas du marais de Sarlièvre au sud-est et du marais de la Fontaine du Bac au nord-ouest. En sondant dans l'axe de ces deux dépressions, nous avons traversé des sables fins et volcaniques tout différents de ceux du cône, dont la base se trouve à — 3,7 m, en moyenne, sous le niveau du sol dans la première localité, et à — 6,5 m dans la deuxième. Ces niveaux fournissent une indication par défaut du creusement maximum au wurmien humide puisque la formation limoneuse, épaisse de 0,8 m à Sarlièvre, intercalée entre les sables et le substratum dur, fait également partie du remblaiement.

Enfin, entre le cône et le lit actuel de l'Artières, il existe une nappe alluviale intermédiaire que nous avons observée grâce au creusement d'un puits au sud immédiat de la voie ferrée face à l'ancienne poudrière de Crouelle. Il s'agit d'alluvions grossières, composées de galets volcaniques et granitoïdes, cimentées par les entraî-

nements de calcite, qui reposent sur le Stampien en place ; la taille maximum des galets est environ le double de celle du poing. Cette nappe est épaisse de 0,3 à 0,5 m. Elle forme un replat topographique qui supporte la poudrière et qui se prolonge jusqu'au pied des coteaux de Gandaillat à l'est de la ferme du Grand Crouelle. Elle est facile à suivre à la sonde qui est bloquée à son niveau. Elle est aussi aisément repérable en surface par la présence de nombreux cailloux roulés. Enfin, elle est séparée du lit majeur de l'Artières par un petit talus de 2-3 m de dénivellation.

Pour illustrer et préciser ces observations nous avons procédé à des sondages systématiques et à des levées topographiques suivant deux profils transversaux au cône de l'Artières ; le premier joint l'axe du marais de Sarlième au marais de la Fontaine-du-Bac, le second est à peu près parallèle à la voie ferrée, à 120 m côté nord, et va de l'Artières à la terrasse du château de Sarlième.

Ces recherches dont les résultats ont permis de dresser les coupes transversales de la figure 26 attestent les faits suivants :

— Par rapport au point le plus haut des alluvions du cône, l'érosion a creusé à plus de 15,5 m au nord (Artières) et jusqu'à 15,8 m au sud (Sarlième).

— La terrasse du château de Sarlième est au même niveau que le cône de l'Artières.

— Au revers septentrional du cône, il existe une nappe alluviale caillouteuse, distincte de celle du cône, déversée au nord et dénivellée de 3 à 5 m sous la précédente.

Le cône de l'Artières est bordé au sud par des terrains *encaissants* imperméables qui provoquent une ligne de sources surgissant au-dessus du niveau actuel du marais de Sarlième. Nous reviendrons en détail sur ce dernier point au cours de l'interprétation.

b) *Documents paléontologiques et archéologiques*

Les premières découvertes importantes concernant le cône de l'Artières sont dues à Pomel (1853) puis à Pommerol (1879) qui ont rassemblé les éléments de la faune dite de Sarlième, comprenant le Cheval, divers Bovidés, le Loup, le Renard, le Renne, le Mammouth et le Rhinocéros laineux, c'est-à-dire un assemblage hétéroclite d'éléments de faune tempérée et de faune froide. Un outillage magdalénien déjà évolué accompagnerait cette faune (J. Jung, 1946).

A. Vergnette (1927) a trouvé à la sablière Bonnabry un outillage daté de l'Azilien dans les sables « reposant immédiatement sur les marnes et les calcaires lacustres » et des foyers néolithiques importants à la base du sol, dernière précision qui nous a été confirmée oralement par P. F. Fournier.

La description de Vergnette confirme donc nos observations sur la superposition directe du sol aux sables feldspathiques vers l'extérmité du cône où est située la carrière Bonnabry. Il est regrettable que Vergnette n'ait pas indiqué l'épaisseur des sables ou la profondeur du plancher stampien.

Enfin, les vestiges de l'âge du Fer (La Tène II et III), découverts par Vergnette proviennent de sépultures enterrées dans les sables de la terrasse du château de Sarlième, près du passage à niveau de la route de Cournon. Il ne s'agit donc pas du cône de l'Artières ni de matériel en place ayant une valeur stratigraphique.

Par ailleurs, à la base des assises limoneuses coiffant les sables sur le bord

méridional du cône de l'Artières, nous avons trouvé des niveaux riches en pollens, caractérisés par la prédominance du Chêne qui placerait donc ce dépôt lors d'une phase climatique tempérée.

2°) Interprétation

Il n'entre pas dans notre objet de dater chacune des nappes alluviales présentes à Sarlième, en recherchant leurs corrélations avec les cycles de remblaiement et de creusement de l'Allier. Aussi, nous limiterons-nous volontairement à des considération purement locales.

a) *Le cône alluvial de l'Artières est approximativement contemporain de la terrasse du château de Sarlième,* puisque ces deux nappes sont au même niveau. Il est, par

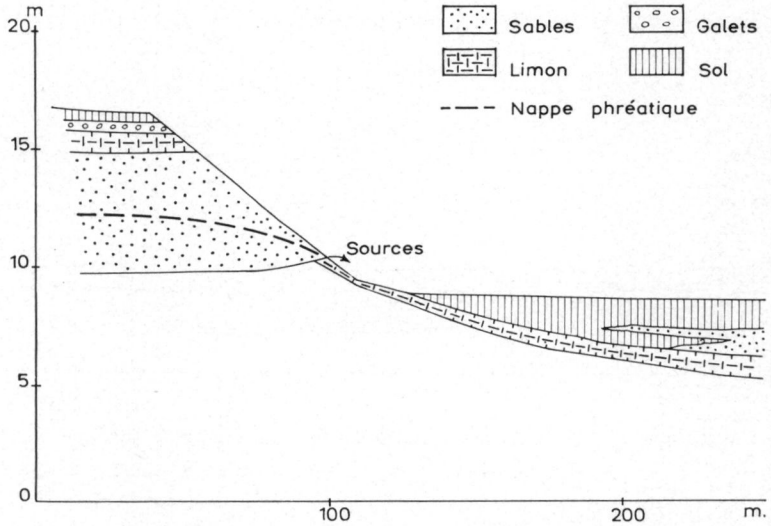


Fig. 27. — *Détail du contact entre le cône de l'Artières et Sarlième*

contre, postérieur à la terrasse de la Gantière qui le domine de 8-10 m (J. Jung, 1946).

Les sables feldspathiques qui constituent la masse essentielle du cône sont de calibre semblable à celui des alluvions de la nappe de Sarlième. Ces deux remblaiements ont donc été déposés par des rivières de compétence analogue dans leur médiocrité. Mais les sables de l'Artières se distinguent de ceux de Sarlième par l'absence d'olivine dans leur cortège de minéraux lourds (R. Meilhaud, 1955) confirmant leur origine différente. Leur granulométrie relativement fine peut être interprétée comme l'indice d'un climat plutôt tempéré qui aurait évolué dans le sens d'un assèchement marqué par le dépôt des limons mi-colluviaux, mi-fluviatiles ; cette hypothèse trouvant un argument complémentaire dans la présence de pollens de Chênes à la base des limons. Quant à l'épisode final beaucoup plus grossier, il traduit une augmentation indiscutable de la compétence de l'Artières.

b) Le creusement du marais de Sarlième est postérieur au cône de l'Artières. — Cette interprétation est étayée par la topographie et par les sondages qui attestent

que le marais de Sarlième a été creusé nettement sous le plancher des sables du cône.

Elle est confirmée par la nature du contact entre le cône et le marais (cf. le détail de la figure 27). Sur le bord sud, la nappe des sables se relève légèrement et s'appuie sur des terrains encaissants imperméables qui emprisonnent un plan d'eau perché.

Enfin, la pente de 5 p. 100 du talus est accusée. Elle caractérise une forme de creusement plutôt que de remblaiement sur un fond plat. Déduction faite du manteau pédologique, un talus aussi raide, limite les alluvions côté nord.

La cote relative à peu près identique du niveau de creusement de l'Artières sur le flanc nord du cône montre le parallélisme des phénomènes, différencié cependant par l'épisode intermédiaire de l'épandage caillouteux de la poudrière.

c) *Le remblaiement récent, postérieur au creusement wurmien,* débute partout par des limons dont la puissance n'excède pas 1 m.

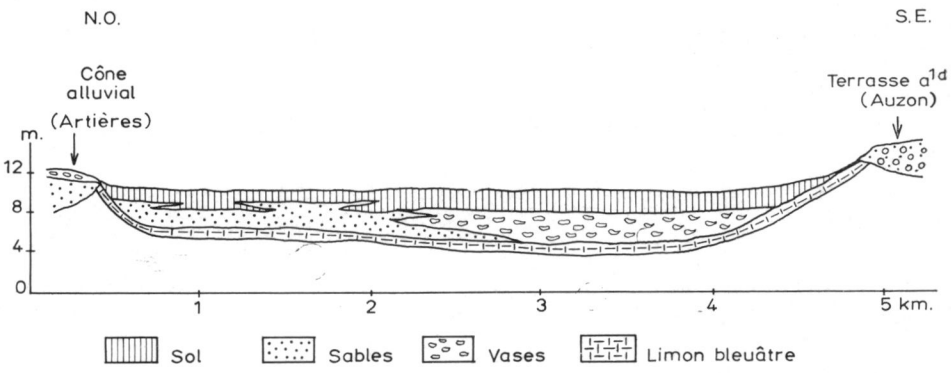


FIG. 28. — *Coupe longitudinale du marais de Sarlième*

Ensuite, il comprend généralement des sables fins volcaniques. Ainsi, au nord du cône, l'Artières coule actuellement sur un matelas alluvial de plus de 6 m d'épaisseur. Côté sud, c'est-à-dire dans le marais de Sarlième, les sables volcaniques sont présents seulement dans la zone septentrionale, la plus resserrée entre les coteaux de Pérignat, la terrasse de Sarlième et le cône de l'Artières ; ils sont disposés en deltas sous-lacustres au débouché des vallons qui drainent le flanc nord du plateau de Gergovie. Dans la partie méridionale du marais, ces sables sont remplacés par des vases à odeur fétide, non cohérentes, dans lesquelles la sonde pénètre très facilement sans effort de pression ni mouvement hélicoïdal.

Enfin, le remblaiement du marais de Sarlième se termine par 1,5 à 2 m de sédiments cohérents et structurés possédant tous les caractères des sols limagnais mais particulièrement riches en CO_3Ca.

Ces renseignements stratigraphiques obtenus par sondages, ont permis de tracer la coupe longitudinale du marais représentée à la figure 28.

C'est à cette période que doit être rattachée l'obturation de l'exutoire naturel du marais de Sarlière par des apports colluviaux. Sur les 3 faces du cône de l'Artières le remblaiement s'est donc effectué selon des processus différents d'où l'inégale

puissance et la nature différente des dépôts. Par exemple, le niveau du sol du marais de Sarlième se trouve actuellement plus bas que le talweg de l'Artières.

Comme l'Artières, le cours des autres rivières limagnaises est ainsi jalonné par des alluvions modernes inégalement distribuées afin d'adapter leur profil en long aux conditions climatiques actuelles. La puissance du remblaiement est maximum au débouché dans la plaine de chaque vallée où se sont formés des cônes alluviaux de piémont. Selon divers renseignements, nous savons qu'elle dépasse 7 m à Crouelle (l'Artières) (1), atteint 12,5 m à la Gauthière (la Tiretaine) (2), une douzaine de mètres à Cébazat (le Bédat) (3).

3°) Discussion

La reconstitution précédente est en contradiction avec la plupart des interprétations antérieures s'appuyant surtout sur les découvertes archéologiques et paléontologiques. Mais ces dernières nous semblent peu sûres en raison du petit nombre et de la dispersion des outillages recueillis, et de la présence simultanée, apparemment contradictoire, d'éléments de faune froide et d'éléments de faune tempérée. Elles ne nous paraissent pas suffisantes pour résister à des faits concordants.

Bien que A. Rudel et G. Lemée (1955) aient souligné la nature comparable de la faune dite de Sarlième et de la faune de Pont-du-Château appartenant à la terrasse de 15-20 m, nous pensons que le cône de l'Artières se raccorderait à un niveau antérieur de l'Allier, puisqu'il domine de 15 m le marais de Sarlième creusé, selon M. Derruau (1949 *b*), « en fonction de la terrasse de 15-20 m ». Les phénomènes de cryoturbation qui ont affecté le sommet des alluvions du cône, signalés dès 1949 par A. Rudel, ne sont donc pas surprenants.

En ce qui concerne la terrasse intermédiaire de la poudrière, nous en avons fait un niveau indépendant du cône en raison de deux observations.

Primo, sur notre profil transversal septentional, les galets sont interrompus et ne se prolongent pas sous les sables du cône proprement dit.

Secundo, sur l'autre profil, les mêmes galets passent latéralement aux sables feldspathiques ; le contraste de granulométrie est tel que ces deux formations ne peuvent pas avoir été déposées simultanément.

D'autre part, aucune autre rivière de la Chaîne des Puys n'a laissé un dépôt homologue de celui du cône de l'Artières. Peut-être faut-il voir dans cette constatation une liaison avec le fait que l'Artières est la seule à ne pas comprendre dans son bassin d'alimentation de coulées volcaniques de quelque étendue. En présence de laves protectrices à l'amont, les talwegs sont alimentés davantage par des eaux de source que par le ruissellement ; d'où il résulte des eaux peu chargées susceptibles de creuser plutôt que de remblayer.

Enfin, comment expliquer le creusement du marais de Sarlième à l'amont du cône de l'Artières ? En comparant Sarlième au marais de Saint-Ignat-Surat, si régulièrement creusé jusqu'à des pentes longitudinales inférieures à 1 p. 1 000 sur une

(1) Sondages personnels.
(2) Forages exécutés par la Société Michelin.
(3) Forage de puits particulier.

surface très grande par rapport au bassin d'alimentation des eaux, on ne distingue pas de raison majeure pour que l'érosion n'ait pas réalisé à Sarlième ce qu'elle a fait à Saint-Ignat. Toute l'extrémité orientale du plateau de Gergovie est drainée vers Sarlième aussi bien par le flanc nord que par le revers sud. Avec le passage du froid humide au froid sec de la fin de la période glaciaire, la réduction de l'écoulement et l'accentuation des colluvionnements par solifluxion ont provoqué l'obstruction progressive du passage étroit entre le cône de l'Artières et la terrasse de Sarlième. La présence d'anciens chenaux soulignés par des sables fins insérés dans les limons qui obstruent ce déversoir naturel du lac de Sarlième, appuie cette hypothèse.

CHAPITRE X

SYNTHESE : L'ÉVOLUTION MORPHOLOGIQUE ET PÉDOLOGIQUE DE LA LIMAGNE DEPUIS LA PÉRIODE WURMIENNE

Les observations et les analyses que nous avons effectuées sur les formations superficielles de la Limagne apportent un faisceau de faits relativement cohérents et suffisamment convergents pour permettre de tracer l'histoire de cette région depuis la phase de creusement responsable de la formation des « marais ».

En raison de la relative homogénéité pétrographique du périmètre de notre étude, l'évolution morphologique et pédologique est placée sous la dépendance essentielle des conditions climatiques, tout au moins jusqu'au moment où l'Homme, devenu agriculteur, a puissamment modifié le jeu des processus naturels. En conséquence, notre synthèse chronologique est établie en fonction des variations climatiques telles qu'elles nous apparaissent à travers les faits recueillis en Limagne.

Enfin, nous avons adopté les conclusions de M. DERRUAU (1949 *b*) qui situe au Wurm humide le creusement des « marais ». La glaciation wurmienne — lato sensu — représente donc l'origine chronologique de la période couverte par notre étude.

1°) LA FORMATION DU CÔNE DE L'ARTIÈRES

Pourtant, nous avons dû remonter le cours des temps au-delà de cette dernière limite puisque l'étude du cône de l'Artières, considéré généralement comme d'âge magdalénien, nous a conduit à admettre que sa formation est antérieure au creusement du marais de Sarlième qui le borde au sud.

Cette déduction résulte de faits topographiques : nature du contact entre le cône et les terrains encaissants ; cotes relatives du sommet et de la base des alluvions de l'Artières par rapport au plancher de la dépression de Sarlième au sud et du lit de l'Artières au nord.

La succession stratigraphique des différentes couches du cône traduit pétrographiquement les variations climatiques d'un épisode interglaciaire — sables grossiers feldspathiques — sables fins — limons argilo-calcaires — sables volcaniques cimentés et enfin conglomérat grossier granito-volcanique. La prédominance des pollens de Chêne dans les assises limoneuses confirme que leur mise en place s'est produite au cours d'une phase climatique relativement tempérée.

2°) La période wurmienne froide et humide

Comme l'a fait remarquer M. Derruau (1949 *b*), le creusement des « marais » limagnais, où la pente longitudinale des talwegs s'abaisse jusqu'à moins de 1 p. 1 000 [1], ne peut « se concevoir que dans l'hypothèse d'un climat différent du nôtre, d'un climat plus humide, et chargeant moins les cours d'eau » (p. 164). Il serait donc contemporain d'une phase d'englaciation correspondant au Wurm humide. Le niveau de base est alors constitué par le sommet de la Basse Terrasse de l'Allier (a^{1d}).

Alors que les basses températures limitaient le développement de la couverture végétale, l'abondance des précipitations a nourri de nombreux talwegs peu chargés qui ont alors creusé leurs lits jusqu'à de très faibles pentes pour rétablir l'équilibre entre leur charge et leur débit. De cette époque date également l'incision des versants par d'innombrables vallons secondaires, aujourd'hui inactifs et distribués en fonction des inégalités structurales.

Ainsi, au Wurm humide, le ruissellement paraît avoir été suffisamment puissant en Limagne pour déblayer la majeure partie des produits de la désagrégation du socle géologique. Cependant, dans les parties les plus plates, la présence de fractions granulométriques grossières observées soit dans les limons, soit dans les sols, conduit à admettre qu'il s'agit là de fragments résiduels non évacués par le ruissellement. Tel est le cas des galets rencontrés assez fréquemment à la base des limons ; c'est aussi le cas des sables qui amendent parfois les limons ou même les sols sur les interfluves limagnais.

3°) La période froide et sèche du Tardiglaciaire

L'ensemble des données fournies par la Préhistoire, la Paléontologie et la Palynologie convergent pour caractériser l'assèchement du climat à la fin de la période wurmienne. Les corrélations établies par les méthodes de chronologie absolue de la Géochimie (radiocarbone et radiooxygène) montrent que cette phase de sécheresse est contemporaine des plus basses températures marines connues soit en Méditerranée, soit dans l'Atlantique Nord (C. Emiliani, 1955).

Cette période correspond au plus faible développement de la couverture végétale représentée dans les plaines françaises par la steppe froide, parcourue principalement par le Renne, l'Antilope saïga et le Bison.

Que s'est-il donc passé en Limagne à cette époque ?

En réduisant l'écoulement, l'assèchement climatique a diminué la compétence des cours d'eau qui sont devenus sous-adaptés à leur profil. Le ruissellement concentré a alors abandonné à la cryergie le rôle morphogénique essentiel.

Dans les parties plates, l'action du froid a provoqué les remaniements sur place — involutions, festons, guirlandes, fentes en coin — observés en Limagne dans les assises stampiennes fragmentées en plaquettes (marais de Saint-André-le-Coq, ensellement de Chavaroux, carrière de Joze) et à la partie supérieure des alluvions (cône de l'Artières, terrasse de Sarlième.)

Sur les pentes, les alternances du gel et du dégel ont fourni d'abondants maté-

[1] Une prospection géophysique effectuée en 1962 entre Montferrand et Gerzat, confirme la très faible pente du plancher stampien dans l'axe du tracé de la Tiretaine : environ 1 p. 1 000 (documents, Services départementaux du Génie rural).

riaux meubles en raison de la friabilité générale des marno-calcaires dont la nature argileuse a enfin facilité la descente par le jeu combité de la solifluxion et du ruissellement diffus.

A la fin de la dernière période glaciaire, la Limagne a donc été recouverte par un manteau de limons argilo-calcaires dont l'épaisseur en chaque point est la résultante des apports par colluvionnement et des départs par érosion, et dépend ainsi essentiellement de la situation topographipue. Les fossés d'assainissement tracés suivant la ligne de plus grande pente vers le bord oriental du marais de Saint-André-le-Coq nous ont fourni des exemples révélateurs de la distribution de lsimons sur les pentes. L'érosion du Wurn humide a dégagé un profil de versant en marches d'es calier, défini en fonction de la dureté des diverses assises stampiennes venant à affleurement (fig. 29). Ultérieurement, ce relief a été presque entièrement régularisé par le manteau des limons tardiglaciaires avant de l'être complètement par le colluvionnement des sols. Cette régularisation s'est effectuée principalement à partir

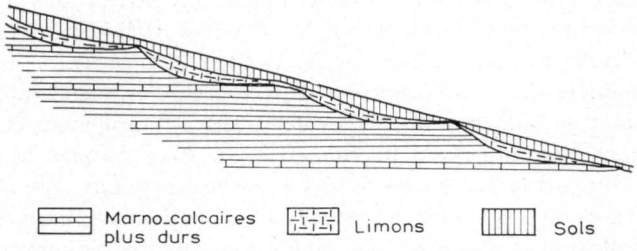


FIG. 29. — *Distribution des limons et des sols le long d'une pente faible*

des roches affleurant dans les parties supérieures et moyennes des versants tandis qu'à la base les roches du socle se sont trouvées enfouies au contraire ; ces observations confirment donc une remarque formulée par J. BLACHE (1942) à propos de l'érosion pluviale.

L'accumulation colluviale a atteint la puissance maximum au pied des versants et dans l'axe des talwegs secondaires devenus inactifs. Elle est responsable de l'obturation de l'exutoire du marais de Sarlième qui est devenu un lac à partir de cette époque. Le relief limagnais s'est par conséquent régularisé et s'est adouci à la suite de ce colmatage des zones de piémont.

Par contre, au centre de la plaine, à l'écart des buttes, les limons sont minces et doivent leur présence plus à des remaniements sur place qu'à des transports colluviaux. Le contact limons/marno-calcaires y est très progressif.

Enfin, sur les versants suffisamment raides, l'intensité de l'érosion a dépassé celle du colluvionnement. Les marno-calcaires n'y sont donc pas recouverts de limons.

En définitive, ce schéma génétique des limons, issus des marno-calcaires par le jeu essentiel des facteurs physiques, explique la similitude de leurs constitutions chimiques. Des éléments étrangers, de nature volcanique ou alluviale se sont parfois incorporés aux limons au cours du transport et sont liés à la présence d'affleurements volcaniques ou de terrasses alluviales au sommet des versants qui ont nourri ces colluvions.

L'absence de symptômes susceptibles de traduire un début d'évolution pédologique atteste le rôle secondaire qu'a exercé la couverture végétale. L'analyse pollinique confirme cette opinion puisque nous n'avons pas pu distinguer avec certitude dans les limons d'autres pollens que ceux observés dans les marno-calcaires.

4°) Le réchauffement postglaciaire

Selon Broeker, Ewing et Eezen (1960), le réchauffement du climat qui termine le Tardiglaciaire a été rapide puisque la température de l'Océan Atlantique s'est relevée de 6 à 8°C en moins de 2 000 ans. Il s'est prolongé ensuite lentement pendant tout le début du Postglaciaire. Dans le même temps, l'humidité a également augmenté.

Mais, en Auvergne, on ne possède que peu d'indications sur les oscillations thermiques successives qui ont pu se produire à la fin du Tardiglaciaire. En particulier, en Limagne, nous n'avons pas trouvé d'indices paléobotaniques nous permettant de caractériser le réchauffement temporaire de la période d'Alléröd (1), pourtant décelé dans les monts d'Auvergne par G. Lang et W. Trautmann (1961).

De toute manière, les conséquences morphologiques et pédologiques de l'amélioration du climat se sont manifestées évidemment à retardement et en tamponnant les pulsations thermiques ou pluviométriques. A ce propos, la coupure qui apparaît la plus importante dans les dépôts superficiels de Limagne est le passage des limons aux vases ou aux sables sus-jacents observés dans les sédiments lacustres de Sarlième et de Marmillat. Ce changement dans la nature des sédiments est progressif. Il indique l'influence croissante exercée par la couverture végétale, principal agent des processus pédogénétiques. Or, l'analyse pollinique des sédiments lacustres de Sarlième et de Marmillat montre que le passage des limons aux vases correspond à la phase IV de Firbas c'est-à-dire au début du Postglaciaire dont l'origine est conventionnellement fixée à la division en deux lobes du glacier scandinave, il y a un peu plus de 10 000 ans. Donc, les limons formés au cours de la période froide, glaciaire et tardiglaciaire, ont alimenté le colluvionnement jusqu'aux premiers temps postglaciaires.

D'autre part, le long des talwegs, le remblaiement comprend des limons puis des sables d'abord feldspathiques avant de devenir essentiellement volcaniques ; des lits de limons sont souvent interstratifiés dans la partie basse des sables. L'alluvionnement a ainsi commencé par déposer alternativement des matériaux granito-volcaniques et des produits argilo-calcaires. Ce qui signifie que les premiers remblaiements alluviaux se sont produits alors que le colluvionnement des limons se poursuivait au pied des coteaux limagnais. La fin du Tardiglaciaire et le début du Postglaciaire, époques d'amélioration climatique, sont marqués en Limagne par la coexistence des transports colluviaux et des transports alluviaux.

Ces périodes correspondent en Auvergne aux dernières éruptions de la Chaîne des Puys puisque les coulées du puy de la Vache et du puy de Pariou qui figurent parmi les plus récentes datent respectivement de 7 650 ans et 8 580 ans (à 350 ans près) (H. Pelletier et *al.*, 1958 et 1959). Le changement survenu dans la nature des allu-

(1) Pour les indications chronologiques du Tardiglaciaire et du Postglaciaire, se reporter au tableau de synchronisation n° 19 p.141.

vions déposées par les rivières limagnaises issues des Monts Dômes est certainement lié à l'abondance des projections qui ont brutalement recouvert alors la surface du sol aux abords des volcans. Les analyses chimiques que nous avons effectuées sur ces alluvions de nature volcanique attestent une relative homogénéité de constitution et les classent parmi les projections andésitiques, soit, selon Y. BENTOR (1954), parmi les projections les plus récentes émises par les volcans auvergnats.

Cette relation voit une confirmation dans la présence de sables volcaniques rassemblés en position haute par rapport aux lits majeurs des rivières limagnaises. Ces sables conservés en quelques sites privilégiés apportent le témoignage que la partie sud-ouest de la plaine limagnaise a reçu par voie aérienne des projections volcaniques directes. Ainsi s'explique la présence des larmes et des cheveux de verre découverts par P. DELAUNAY (1936) dans les sols de Limagne auxquels ils ont été incorporés au cours de l'évolution pédologique.

Parmi les dépôts superficiels, ces sables se placent à la partie supérieure des limons, immédiatement à la base des sols. Cette position stratigraphique est donc concordante avec les indications chronologiques précédemment énoncées.

5°) L'optimum climatique postglaciaire

A partir de la phase V de FIRBAS, synchronisée à la période « boréale » de BLYTT-SERNANDER, les dépôts lacustres accusent la participation de plus en plus grande des matières organiques dans les sédiments. Dès lors, ils ont conservé des pollens qui permettent de suivre de près l'évolution paléobotanique de la Limagne. Il devient possible d'en déduire les phénomènes climatiques, morphologiques et pédologiques qui ont affecté le territoire limagnais depuis cette époque.

L'amélioration du climat s'est poursuivie dans le sens du réchauffement jusqu'à l'optimum thermique postglaciaire, fixé à — 4 000 ans par C. EMILIANI (1955), date du maximum des températures marines. Parallèlement, l'analyse pollinique montre le déclin relatif des pollens du Pin devant ceux des arbres thermophiles : Chêne, Orme, Tilleul et Frêne, également le recul des espèces prairiales face au développement rapide du Noisetier, espèce colonisatrice par excellence, à son tour dominé par le Chêne, l'Orme et le Tilleul d'implantation plus lente. Le Hêtre et le Sapin apparaissent à peu près en même temps que les Céréales au début de la phase VII de FIRBAS. L'optimum climatique est atteint alors que la Chênaie-mixte réalise une couverture forestière quasi complète, sous l'aspect d'un peuplement clair qui laisse une faible place au Noisetier établi en strate inférieure ou localisé aux zones érodées, au Hêtre et au Sapin confinés aux expositions nord-ouest, enfin une part infime aux espèces herbacées. Ce développement maximum de la Chênaie-mixte correspond à la phase VII de FIRBAS, qui s'est terminée vers 2500 avant J.-C. L'optimum climatique se place donc à une période contemporaine du Néolithique.

Telle est, dans ses aspects fondamentaux, l'évolution de la couverture végétale de la Limagne au cours de la première partie du Postglaciaire. Mais elle s'est déroulée sur des rythmes différents en fonction de la situation géographique. Par exemple, nos résultats comparés de Sarliève et de Marmillat mettent en évidence le retard parfois très important mis par la forêt pour supplanter la steppe sur les versants exposés au nord.

Le développement généralisé de la forêt a eu des conséquences certaines sur la morphogenèse et sur la pédogenèse. Il a favorisé la dernière et, ainsi, il a modifié les processus de la première en réduisant le rôle du ruissellement diffus au profit du ruissellement concentré.

Dans les vallées, les rivières ont poursuivi l'adaptation de leur profil d'équilibre en continuant de déposer des alluvions sableuses de nature volcanique sur le tronçon amont de leurs parcours limagnais. Mais aussi, en poursuivant leur travail de creusement régressif à partir de leur confluence avec l'Allier. Sur les versants, quelques indications précises indiquent que les limons ont été parfois incisés par des rigoles de ruissellement au début de cette période d'élaboration des sols. Il n'empêche que, pris dans son ensemble, le début du Postglacaire qui couvre le « Boréal » et l'« Atlantique » de Blytt-Sernander, correspond à une phase de stabilité relative des versants au cours de laquelle s'est développé un manteau pédologique à peu près continu formé à partir des limons, roche-mère essentielle, et représenté par des sols rendziniformes et par des sols bruns calcaires. Ces sols constituent des stades intermédiaires de l'évolution pédologique dont le climax devait être alors le sol brun forestier calcimorphe.

Enfin, à l'« Atlantique », l'agriculteur néolithique a fait une timide apparition en Limagne ; son œuvre de défrichement semble très localisée. Les plus anciennes colluvions terreuses pollinifères rencontrées sont contemporaines de la phase VII de Firbas et coïncident avec les premiers symptômes de l'activité agricole et pastorale de l'Homme. Nous sommes donc tenté de voir dans ces constatations une relation de cause à effet.

6°) La péjoration climatique du « Subboréal »

Au cours de la période « Subboréale », le climat a subi un abaissement des températures moyennes et un accroissement des précipitations qui sont attestés par le développement relatif de la Hêtraie-Sapinière aux dépens de la Chênaie-mixte. Même en Limagne, les rapports des pollens entre ces deux groupes d'espèces nous autorisent à penser que le Hêtre et le Sapin étaient les mieux représentés en moyenne, étant admis que les différences d'exposition devaient conduire à l'existence de peuplements diversifiés dans leurs composants. La forêt climacique limagnaise devait être alors un mélange de Sapin et de Feuillus.

L'analyse pollinique ne révèle pas de modifications sensibles dans les proportions relatives des pollens de Céréales et d'espèces prairiales, indicateurs de l'activité humaine qui semble donc être demeurée à peu près constante. Mais, c'est au cours de cette époque qu'ont débuté la plupart des transports qui ont affecté les sols limagnais alors que, le long des ruisseaux, l'accumulation des alluvions sableuses se termine.

Au « Subboréal », la Limagne a conservé encore la majeure partie de son manteau forestier, élément de stabilité morphologique. Par contre, la plus forte humidité du climat, et le développement du Sapin dont la litière est plus acide que celle des feuillus, ont probablement contribué à accélérer l'évolution pédologique. Il est possible que, dès ce moment, certains sols argileux de Limagne aient pu atteindre le stade de sols bruns forestiers.

7°) L'expansion explosive de l'agriculture à l'âge du Fer

L'analyse pollinique décèle au sommet des niveaux pollinifères une véritable explosion des pollens des Céréales, des espèces prairiales et des espèces rudérales. A tel point que les pollens forestiers sont en nombre souvent bien inférieur à celui des plantes herbacées. Ce brusque changement dans les rapports polliniques est l'indice indiscutable de déforestations généralisées dans le territoire limagnais.

La découverte de niveaux archéologiques gallo-romains qui ont conservé quelques pollens, prouve que la déforestation s'est effectuée avant cette époque. Par référence aux données fournies par G. Lemée sur l'Auvergne, nous pensons que l'essor de l'agriculture limagnaise est contemporaine de l'âge du Fer, et se place donc au premier millénaire avant l'ère chrétienne.

L'enfouissement des couches gallo-romaines dans le tiers inférieur des sols, la présence de niveaux organiques enterrés, l'inversion des profils marqués par l'augmentation des carbonates et la réduction des colloïdes argileux de la base à la surface des sols, sont autant d'éléments qui marquent la reprise accélérée du colluvionnement dans les zones de piémont, et par conséquent de l'érosion des sols sur les coteaux. D'où la toposéquence pédologique que nous avons établie : sols squelettiques des pentes fortes — rendzines et sols bruns calcaires des pentes douces, sols colluviaux à profil inversé des piémonts — sols bruns peu ou pas calcaires de la plaine.

Nous avons apporté également la preuve des érosions éoliennes qui affectent, à la sortie de l'hiver, les parcelles labourées et qui ont transporté des sols de la plaine jusque sur les terrasses anciennes en position haute.

En supprimant la forêt, en la remplaçant par le champ labouré, l'Homme a profondément modifié l'équilibre pédo-climatique au bénéfice de l'érosion, provoquant un second cycle de remblaiements colluviaux effectués principalement aux dépens des sols de versants. Il a ainsi détruit l'homogénéité relative du manteau pédologique qu'avait pu réaliser la couverture forestière. L'Homme doit donc être considéré comme l'agent principalement responsable de l'érosion qui affecte depuis plus de 2 000 ans les versants et même la plaine de la Limagne.

8°) La situation actuelle

Avec le recul des surfaces cultivées depuis le début de ce siècle, particulièrement à la suite du déclin du vignoble limagnais localisé sur les coteaux, l'érosion des versants est actuellement affaiblie. Par contre, dans la plaine, la raréfaction des rideaux d'arbres consécutive en partie au remembrement des propriétés en parcelles de grande étendue, est au contraire un élément qui favorise l'érosion éolienne.

Parce que les actions d'érosion et de colluvionnement ont provoqué des différences importantes dans l'épaisseur des matériaux meubles de surface — limons et sols — elles sont les principales responsables de l'inégale valeur agricole des terroirs limagnais.

CHAPITRE XI

CONSÉQUENCES AGRONOMIQUES

Des événements qui sont survenus depuis la dernière période glaciaire, les sols de Limagne ont hérité des caractères dont certains sont importants par leurs conséquences agronomiques.

1°) Les caractères chimiques du sol

Comme l'a montré D. Collier (1949), les sols limagnais doivent leurs qualités chimiques à la nature de leur roche-mère essentielle : les limons, eux-mêmes dérivés des marno-calcaires stampiens. D'où s'expliquent la forte teneur en colloïdes argileux et aussi la richesse en potasse puisque l'illite serait l'argile la plus fréquente ; également la saturation calcique du complexe absorbant même dans les sols décarbonatés.

Les statistiques présentées par D. Collier ont montré l'inégale distribution de l'acide phosphorique assimilable dans les sols de Limagne qui varie parallèlement à la présence d'éléments volcaniques dans les sables et les cailloux.

Les sols les plus riches sont précisément localisés sur les alluvions les plus récentes de nature presque entièrement volcanique, déposées par les rivières descendant de la Chaîne des Puys. Hors de ces territoires, la richesse en acide phosphorique des sols est relativement généralisée dans toute la partie méridionale de la Grande Limagne et aurait donc pour origine les projections directes qui ont recouvert cette région lors des dernières éruptions contemporaines de la fin du Tardiglaciaire et du début du Postglaciaire, plutôt que les affleurements de roches volcaniques peu représentées dans le centre de la plaine.

Les essais de fertilisation réalisés par la Station d'Agronomie du Massif Central sous la direction de G. Guyon puis de D. Collier confirment ces différences de richesse chimique. Alors que les cultures ne réagissent pas aux engrais phosphatés dans la partie sud-occidentale de la Limagne marno-calcaire, des réponses positives ont été observées à l'est et surtout au nord (D. Collier, 1953 — D. Collier et L. Gachon, 1957).

2°) Les caractères physiques du sol

Les actions du passé récent n'ont pas influencé, de façon sensible, la *structure* des sols argilo-calcaires de Limagne dont le trait le plus remarquable est la stabilité, conséquence de la saturation du complexe absorbant. Malgré cet avantage, la richesse

en colloïdes argileux est telle que les sols sont lourds, compacts et qu'ils se ressuient lentement. Les périodes favorables aux opérations culturales sont donc limitées, particulièrement à la fin de l'automne.

Par contre, la *granulométrie* distingue les sols argilo-calcaires localisés aux lits majeurs des rivières limagnaises qui sont nettement amendés par une composante sableuse. Ces terroirs portent donc des sols moins lourds et qui ont l'avantage de se ressuyer d'autant plus aisément que leur substratum graveleux et sableux est particulièrement perméable.

3°) Les caractères morphologiques du profil pédologique

Au contraire des facteurs qualitatifs, *l'épaisseur des sols et celle des limons* — caractères quantitatifs, — ont été nettement influencées par les phénomènes d'érosion, de colluvionnement et d'alluvionnement qui ont affecté les formations superficielles de Limagne depuis le creusement wurmien. Il en est de même de *l'écoulement des eaux infiltrées* qui résulte de la perméabilité ou de l'inclinaison du substratum et dont dépend la profondeur de la nappe phréatique.

Or, sous le climat sub-continental de la Limagne, ces éléments du profil pédologique exercent un rôle capital sur le rendement des cultures mis particulièrement en évidence par le dispositif expérimental des cases de végétation de la Station d'Agronomie du Massif Central (D. Collier et L. Gachon, 1954). Leur influence s'explique essentiellement par leur action tampon vis-à-vis des précipitations qui régularise ainsi les quantités d'eau mises à la disposition des cultures ; surtout au cours de l'été dont le volume normal des pluies est déficitaire par rapport aux données de l'évapotranspiration potentielle. M. Robelin et D. Collier (1958) ont, en effet, montré que les rendements s'abaissent proportionnellement au déficit d'évapotranspiration, lequel est lui-même fonction des réserves en eau disponibles pour les cultures.

Comme les limons sont susceptibles d'être explorés par les racines s'ils se trouvent à une profondeur convenable, et comme ils possèdent une capacité de rétention pour l'eau peu inférieure à celle des sols, le volume des réserves hydriques disponibles et, par conséquent, la valeur agronomique des terroirs limagnais sont fonction de l'épaisseur cumulée du sol et du limon. Cependant, en raison des différences de structure, le sol est mieux exploré que le limon par les racines ; l'épaisseur du sol doit donc être considérée comme prépondérante par rapport à celle du limon.

4°) Les types de terroirs limagnais

Établie en fonction de la morphologie du profil pédologique, la classification des terroirs limagnais est donc en relation étroite avec le relief. La cartographie agronomique que nous avons réalisée à Lempdes en collaboration avec D. Collier (1955) illustre cette vérité.

En fait, il importe de nuancer cette affirmation en rappelant quelques observations. En effet, le colluvionnement des limons s'est effectué à partir du relief modelé par le creusement wurmien, et par le processus dominant de la solifluxion. Il

en est résulté un nouveau relief qui, à l'exception de quelques retouches, a présidé au colluvionnement des sols. Si bien que *l'épaisseur du double remblaiement colluvial, limon + sol, n'est pas fonction du relief actuel mais du relief wurmien.* En présence de pentes suffisantes, cette nuance est sans doute superflue ; mais, dans la plaine, des surfaces à peu près planes peuvent cacher un microrelief wurmien insoupçonné. D'où des sols aux potentialités différentes. Par exemple, dans une zone plane, nous avons assez souvent observé de tels bombements du substratum stampien, extérieurement imperceptibles et dont la fluctuation verticale atteint parfois 1 m sur des distances inférieures à 50 m.

En conséquence, si la topographie actuelle peut être en Limagne un guide précieux dans l'établissement de la carte agronomique des sols, surtout pour localiser l'emplacement des sondages d'étude, elle est insuffisante pour une cartographie fine principalement dans les zones de piémont où les formes anciennes sont les mieux ensevelies sous les dépôts colluviaux.

Ainsi, du fait essentiel de l'Homme qui a supprimé toute couverture forestière depuis plus de 2 000 ans, l'éventail des terroirs argilo-calcaires de Limagne s'est élargi, au point qu'on distingue aujourd'hui 6 types principaux de terroirs, dont la distribution géographique est évidemment calquée sur le relief.

Les croupes, le sommet des pentes, les versants raides, surtout à l'exposition sud et ouest, présentent des profils minces, soumis fortement à l'érosion et doués d'une faible capacité de rétention globale pour l'eau. La fissuration des marno-calcaires sous-jacents et la pente facilitent l'infiltration profonde des eaux. Ces sols jeunes souffrent beaucoup de la sécheresse estivale et ne peuvent donc être exploités qu'extensivement, par exemple en servant de parcours à moutons. Le rétablissement d'une couverture forestière, à base de Chêne, serait le plus souhaitable pour stabiliser et régénérer les sols, mais cette amélioration serait certainement lente.

Les versants en pente moyenne, de l'ordre de 3 à 15 p. 100 suivant l'exposition et *les croupes faiblement marquées de la plaine* portent une couverture plus épaisse de matériaux meubles, en moyenne voisine de 1 m. Alors que les limons représentent l'élément dominant du profil sur les pentes, on observe plutôt l'inverse sur les croupes. Ces terroirs de rendzines grises argileuses possèdent des potentialités agricoles du même ordre mais leur situation topographique conduit à des vocations différentes.

Au cours des temps historiques, les versants doux ont été le domaine de la vigne, surtout aux expositions sud, où l'érosion a sévi encore avec vigueur en raison de l'alignement des ceps suivant la pente. Aujourd'hui, si certains vignobles bien exposés méritent d'être conservés pour alimenter la consommation locale, il apparaît que les versants devraient être les zones réservées à la culture fruitière en raison de leurs avantages microclimatiques. Car, en Limagne, les coteaux sont les terroirs les moins atteints par les gelées de printemps qui constituent la plus dure adversité des cultures fruitières. Les versants nord et est, en pentes douces, et à sols relativement épais sont particulièrement favorables aux vergers de pommiers conduits en formes basses.

Incluses dans les terroirs de plaine, les croupes possèdent le même système de culture que la plaine elle-même, ce qui apparaît comme un fait logique. Mais les moindres réserves hydriques dont elles disposent contrarient surtout les cultures d'été, plantes sarclées et Maïs. Les croupes sont donc les mieux valorisées par les céréales et le Colza qui parviennent relativement tôt à maturité. Du fait de son enracinement

peu profond, l'Ail, culture locale étendue, est également à placer dans ces situations car il paraît incapable de tirer bénéfice des réserves hydriques profondes des autres terroirs de plaine.

Les piémonts sont évidemment les terroirs limagnais où l'épaisseur des sols et des limons est la plus grande qui peut atteindre plus de 4 m. A ce groupe se rattachent les vallons secondaires aujourd'hui inactifs qui ont autrefois incisé les versants. Parce que les processus de la solifluxion se produisent même sur des pentes très faibles, inférieures à 1 p. 100, le colluvionnement des limons a recouvert de nombreux espaces si bien que ce type de terroir est lui-même étendu. Le profil comprend un sol brun calcaire d'au moins 50-60 cm reposant sur un limon également bien représenté. Lorsque la zone d'accumulation colluviale déborde sur le lit majeur des ruisseaux ou aboutit à des cuvettes mal drainées, il apparaît une nappe phréatique dont la fluctuation conditionne les potentialités agricoles du profil en fonction des cultures pratiquées, et dont la présence conduit à classer ces terroirs dans un type indépendant. D'une manière générale, les piémonts sont des terroirs très fertiles où les cultures échappent à la fois aux sécheresses extrêmes et aux excès d'humidité.

La plaine proprement dite, à l'exclusion des plafonds alluviaux porte des sols relativement peu profonds et qui ont évolué parfois jusqu'au stade de sols bruns. Les limons sont peu épais et résultent plutôt du remaniement sur place des marno-calcaires. La plus grande capacité de rétention pour l'eau et surtout le très faible degré de pente compensent en partie le manque de profondeur en ralentissant l'écoulement tangentiel des eaux infiltrées. Si bien que leur valeur agricole est peu différente de celle des piémonts à condition que les excédents temporaires de précipitation ne créent pas une sursaturation prolongée. Autrement dit, la valeur de ces terroirs de la plaine est liée à l'existence d'un drainage naturel ou artificiel suffisant.

Enfin, *sur le lit majeur des cours d'eau* et *dans les cuvettes* où viennent se rassembler les eaux infiltrées, le profil comporte une nappe phréatique permanente qui est susceptible de satisfaire tous les besoins des cultures à condition d'être à portée du système radiculaire et de laisser une profondeur suffisante de sol aéré. En raison de la bonne structure des sols, les cultures annuelles — céréales, Maïs, Betteraves sucrières — et la Luzerne, principales ressources de la Limagne, sont susceptibles d'exploiter les réserves hydriques du sol sur une profondeur de l'ordre de 2 m. Dans ces limites, même si la nappe se trouve dans la partie supérieure du limon, elle paraît encore normalement exploitable par les plantes ; par contre, si elle est profondément localisée dans l'épaisseur du limon, son efficacité dépend alors de la texture et de la structure de ce substratum.

Ces terroirs sont les plus fertiles de la Limagne dès lors que les risques d'inondation ou simplement d'élévation excessive du plan d'eau sont supprimés. Suivant les situations, le drainage artificiel doit donc poursuivre l'un ou l'autre de ces deux buts. Les inondations proviennent essentiellement du débordement des rivières limagnaises qui sortent de leurs lits à la suite de violents orages ou de pluies printanières prolongées survenant à la périphérie du territoire limagnais ou sur la Chaîne des Puys ; pour les éviter, il importe donc d'assurer l'entretien des principaux émissaires, de les canaliser ou de les élargir éventuellement dans quelques tronçons surélevés ou trop étroits afin que l'écoulement des plus forts débits ne soit pas pas contrarié par les boues et les mauvaises herbes. Quant aux bas des versants et aux cuvettes, où le profil est engorgé par l'eau jusqu'à proximité de la surface, leur amélioration foncière dépend

de la mise en place d'un réseau de fossés suffisamment dense pour conduire les eaux infiltrées jusqu'aux collecteurs principaux. Pour réaliser ce but, il est important que la « tête » des fossés remonte parfois notablement sur le versant pour capter les points sourceux dès leur point d'émergence à la base du sol. Parce que nous avons

FIG. 30. — *Érosion en nappe et en rigoles après orage sur une parcelle de Maïs après Maïs (Saint-André-le-Coq) 23/5/1959 ; intensité de la pluie : (28 mm en 30 minutes)*

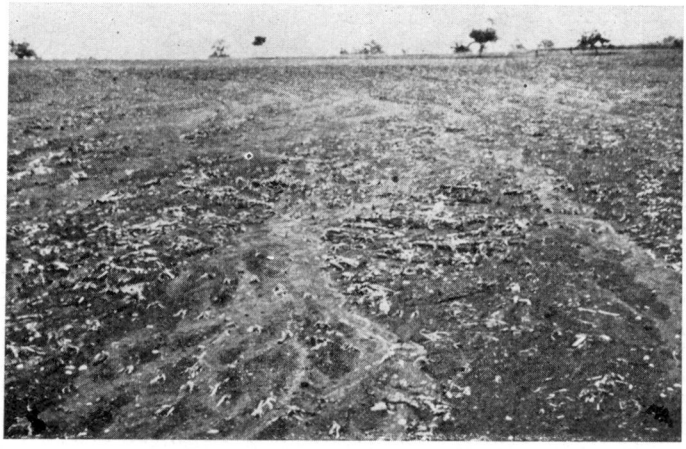


Photo 1. — *Ruissellement en nappe. On remarque les lignes de plantules de Maïs (stade 3-5-feuilles)*

Photo 2. — *Partie aval de la parcelle, cultivée en Blé d'hiver.*

assisté à de véritables débâcles dans les cultures provoquées par de telles résurgences post-orageuses, nous nous permettons d'insister sur ce point (photos de la fig. 30).

En raison de leur système radiculaire moins profondément développé, les espèces prairiales sont les mieux adaptées pour tirer parti de nappes phréatiques peu profondes. Les cuvettes mal drainées sont donc relativement mieux rentabilisées par les productions fourragères, exception faite pour la Luzerne. L'empirisme des agriculteurs

a fait prévaloir ce point depuis longtemps, puisque la prairie occupe la plupart des zones les plus humides.

De part et d'autre des talwegs limagnais, les lits majeurs représentent l'emplacement de prédilection des cultures maraîchères. Les maraîchers bénéficient de sols un peu moins lourds, donc moins froids, se ressuyant plus facilement et surtout de la présence d'une nappe phréatique assez bien alimentée à partir de laquelle ils pratiquent à bas prix l'irrigation par aspersion. De même, dans notre étude sur l'écologie de la Reinette du Canada (1956) nous avons montré que cette disposition de profil est la plus favorable au pommier dont la vigueur diminue lorsque les al-

Photo 3. — *Ruissellement en rigole, à l'aval d'une résurgence des eaux d'infiltration*

luvions sableuses sont remplacées par des limons et cela d'autant plus que l'épaisseur du sol est moins grande.

Les documents chiffrés rassemblés par R. DARPOUX (1961) sur le domaine annexé au Lycée agricole de Marmillat, confirment l'incidence économique considérable du bon état hydrique des profils. En particulier, ils mettent en évidence que dans les sols lourds comme le sont ceux de Limagne, l'excès d'humidité est encore plus préjudiciable que la sécheresse.

Un dernier type peu représenté est celui des *terrasses anciennes* recouvertes par des sols argilo-calcaires amenés par le vent. La perméabilité du substratum les apparente avec les terroirs des croupes et des pentes mais leur épaisseur, parfois proche du mètre, leur confère des potentialités agricoles comparables à celle des pentes moyennes.

CHAPITRE XII

COMPARAISON AUX PAYS D'EUROPE OCCIDENTALE ET D'AFRIQUE DU NORD

Les phénomènes que nous avons étudiés dans le cadre géographique de la Grande Limagne de Clermont et qui ont commandé l'évolution morphologique et pédologique jusqu'à son terme actuel, ne paraissent pas du tout singuliers. C'est du moins ce qu'il résulte des observations que nous avons effectuées dans des régions du Massif Central voisines ou proches de la Grande Limagne. Ce qu'il résulte aussi des documents bibliographiques que nous avons rassemblés concernant nombre de régions d'Europe occidentale et d'Afrique du Nord.

1°) Régions du Massif Central

Dans les autres bassins sédimentaires de l'Auvergne, en particulier dans les Limagnes du Sud, la présence de sédiments argileux et celle d'un relief ralativement accusé ont favorisé le développement d'une toposéquence comparable à celle que nous avons établie : sols rajeunis par l'érosion — sols rendziniformes — sols colluviaux à profil inversé — sols bruns. La différence concerne le facteur chimique dans la mesure où certains sédiments oligocènes sont dépourvus de calcaire. Mais la richesse en argile et le degré de saturation élevé, engendrent des sols physiquement peu différents de ceux que nous avons étudiés.

Le colluvionnement lié à la topographie est encore remarquable et apparaît toujours comme une conséquence essentiellement anthropique. Lucien Gachon (1939) rapporte l'exemple d'un niveau gallo-romain enfoui sous 2 m de colluvions terreuses au pied du coteau du Broc, à Siverac exactement, dans la Limagne d'Issoire. D'autre part, nous savons, grâce à G. Fournier (1960) que le peuplement gallo-romain des Limagnes du Sud, du Velay et du bassin d'Aurillac a été au moins aussi dense que sur la périphérie de la Grande Limagne. Il semble donc normal d'y trouver les traces d'une érosion anthropique au moins aussi puissante.

Dans le bassin du Puy, plusieurs travaux de P. Bout (1950, 1952, 1953, 1957) confirment que les dépôts colluviaux, accumulés depuis le Néolithique, sont particulièrement épais au pied des versants surmontés par des corniches de laves.

Dans des territoires cristallins, il existe également des analogies. Les formations superficielles sont normalement représentées au-dessus du socle rocheux par une arène plus ou moins ameublie appelée « gore » qui fait place à un sol minéral lui-même

terminé par une couche organique. Or, on constate que si la base du gore a généralement conservé la structure cristalline de la roche sous-jacente, il n'en va pas toujours de même de son sommet. Autrement dit, le plus souvent, au sein de l'arène, se place la limite qui sépare le matériel remanié du matériel en place. Mais, l'examen minutieux décèle que ce contact est généralement progressif, insensible et par conséquent impossible à définir avec précision. Pourtant, quelques coupes sont favorables lorsqu'elles possèdent des filons de quartz ou d'aplite qui extériorisent alors le niveau des perturbations par leur courbure vers l'aval suivie de leur disparition.

La même remarque est rapportée par A. Fel (1962) qui signale l'ampleur des remaniements par solifluxion qui ont affecté les arènes cristallines. D'autre part, l'observation révèle également l'existence d'une corrélation, pas toujours étroite certes, entre l'épaisseur des arènes et le relief.

Pour ces raisons d'ordre morphologique, nous sommes tenté de faire du « gore » remanié la formation analogue aux limons de la Limagne, c'est-à-dire les produits d'altération superficielle du socle, plus ou moins colluvionnés au cours de la période froide et sèche. Le sol minéral se serait formé ensuite soit aux dépens de ces arènes, soit à partir des roches elles-mêmes.

Enfin, il est un fait souvent signalé que l'Homme a exercé une influence certaine sur les versants des territoires cristallins de l'ensemble du Massif Central. Cette action est attestée par les nombreux rideaux de culture développés à l'aval des parcelles labourées (Lucien Gachon, 1939). Malheureusement, nous ne possédons aucun renseignement sur la date à laquelle ces talus ont commencé de s'élaborer. Dans certaines régions que nous connaissons mieux, tel le Livradois, la toponymie révèle que l'occupation du sol était déjà appréciable dès l'époque gallo-romaine.

2°) Régions au-delà du Massif Central

L'influence exercée par le relief sur la morphologie des profils et par conséquent sur l'évolution des sols fait partie désormais des notions classiques. Nous ne pensons donc pas qu'il soit utile d'insister sur ce point.

Par contre, les recherches tendant à définir l'âge des sols sont encore relativement rares. Parfois, l'examen et l'étude chimique de certains profils ont mis en évidence des caractères qui ne peuvent pas s'interpréter à partir des conditions climatiques locales actuelles, mais qui se retrouvent aujourd'hui dans d'autres régions du globe. On est alors tenté d'avancer que ces sols se sont formés à une époque où l'on sait que des paléoclimats du même type ont existé au lieu considéré. De là est née la paléopédologie et la notion de sols relictes (W. L. Kubiena, 1953 *b*) ou de sols hérités (B. Geze, 1959). Dans le même ordre d'idées, L. Glangeaud (1956) a proposé le terme de « sol polyphasé » pour désigner un sol portant les traces de plusieurs évolutions successives.

En ce qui concerne l'étude des phénomènes géologiques du Quaternaire récent et la détermination de l'âge des sols qui en dérive, les travaux sont relativement peu nombreux, principalement en France. Nous avons donc essayé de situer la Limagne dans le cadre de l'Europe occidentale et du Bassin méditerranéen, touchés également par des civilisations très anciennes.

En France, et en dehors de l'Auvergne, nous relevons un essai de J. Dupuis

(1960) qui a daté par l'analyse pollinique deux paléo-sols postglaciaires développés sur les sables de Fontainebleau et ensevelis sous des sables colluviaux probablement postnéolithiques. En Provence, à partir d'arguments stratigraphiques. E. Bonifay (1957) a distingué des sols rouges formés à diverses époques du Quartenaire, certains étant postglaciaires, probablement de l'âge du bronze ; les sols les plus récents, postérieurs au bronze, seraient par contre des sols bruns surmontant « l'horizon rubéfié devenu sub-fossible ».

Dans le Sud-Ouest, l'œuvre remarquable de H. Enjalbert (1961) nous permet de relever de nombreuses analogies entre la Limagne et les pays aquitains qui possèdent un socle argileux. Par exemple, les mollasses ont fourni d'abondants limons qui ont glissé sur les versants et qui ont empâté les petites vallées au cours de la période froide et sèche de la fin du Wurmien. Si bien que « l'étude du sol doit se faire en fonction de la géologie pour le haut des coteaux et de l'évolution morphologique récente pour les zones basses » (p. 138). Et jusqu'au Quaternaire récent, la morphogenèse a ainsi largement dominé la pédogenèse.

Des analogies se retrouvent aussi à l'autre extrémité de la France puisque, dans les sols loessiques alsaciens, G. Lemée et R. Wey (1950) ont mis en évidence l'existence d'une toposéquence établie à partir des variations de l'état calcique et tout à fait comparable à celle qui caractérise les sols argilo-calcaires de la Grande Limagne.

En Belgique, les travaux sont nombreux qui traitent du Quaternaire récent. Parmi les plus complets, nous avons retenu ceux de R. Tavernier (1954) et de F. Gullentops (1957) qui signalent l'obstruction des dépressions et des petits ruisseaux par les remaniements du Tardiglaciaire ; le creusement de ravins sous la couverture forestière postglaciaire auquel a succédé un « remblaiement anthropogène » consécutif aux défrichements qui ont favorisé l'érosion des pentes ; l'influence exercée à l'Holocène par la déflation éolienne, sur les sédiments sableux dont « les différentes phases sont surtout liées à l'Homme plutôt qu'au climat ».

En Grande-Bretagne, W. P. Pearsall, J. Gay et J. Newbould (1960) illustrent l'intérêt de confronter les méthodes sédimentologiques, palynologiques et pédologiques en établissant des corrélations entre les caractères chimiques des sédiments et l'évolution des sols et de la végétation. Ils montrent que les boues lacustres postglaciaires résultent essentiellement de l'érosion des sols sur le bassin d'alimentation ; que la vitesse de la sédimentation, donc de l'érosion, dépend de l'intensité des déforestations ; que les défrichements sont contemporains de l'occupation néolithique du district étudié.

De même, G. W. Dimbleby (1961) confirme qu'il existe une liaison étroite dans chaque site entre les activités humaines et l'érosion des sols, le début du transport des matériaux érodés remontant jusqu'à la fin de la période « atlantique ».

Le rôle morphogénique fondamental exercé par l'Homme est attesté par de nombreux travaux concernant tout l'Occident européen. Ainsi, A. Cailleux (1948) estime que le développement de l'agriculture est responsable du fait que les alluvions des cours d'eau de plaine sont devenues essentiellement limoneuses depuis le Néolithique. De même, en Allemagne, grâce aux recoupements fournis par des recherches géomorphologiques, sédimentologiques, archéologiques et palynologiques, H. Mensching (1951 et 1958) conclut que l'accélération

rapide de la sédimentation des « hauts limons » prend place entre la détérioration climatique du Subatlantique et le Moyen Age et qu'elle est en corrélation avec les déforestations et le développement des établissements humains. Ces conclusions sont aussi celles de K. J. ZANDSTRA (1954) dans son étude des dépôts récents de la Sarre.

Les travaux de J. FINK (rapportés par R. MAROCKE, 1962) confirment à la fois l'âge postglaciaire de la majorité des chernozems de l'Autriche orientale et l'action humaine prépondérante qui, depuis 3 000 ans avant J.-C., a contribué puissamment à leur érosion.

En Italie du Sud, aux altitudes inférieures à 1 000 m, J. BUDEL (1951) souligne également que le facteur morphologique capital est l'énorme érosion déclenchée par la mise en valeur agricole.

Enfin, nous retrouvons les mêmes observations dans des travaux concernant l'Afrique du Nord. Pour L. YANKOVITCH (1956) le colluvionnement des sols de la Station botanique de Tunisie est la conséquence des défrichements faits pendant l'ère romaine. Dans sa thèse consacrée aux plaines du Chélif, J. BOULAINE (1957) dégage aussi l'action de l'Homme qui, depuis 25 siècles, a détruit un équilibre morphologique déjà instable.

Quant aux renseignements fournis plus particulièrement par la Palynologie, ils indiquent que la dégradation des sols par l'Homme s'est généralisée au cours de l'âge du Fer dans toute l'Europe occidentale, mais qu'elle a débuté avec les déforestations effectuées par les Néolithiques (J. IVERSEN, 1960). Alors que « la période atlantique a certainement été très active au point de vue pédogénétique » (G. MANIL, 1956, p. 440), la suppression de la forêt et son remplacement par des landes à Éricacées a modifié et accéléré les processus de l'évolution jusqu'à la podzolisation. Ainsi s'explique la présence de paléosols enterrés sous des horizons épais d'humus brut (G. W. DIMBLEBY et J. M. GILL, 1955). Ces conclusions rejoignent aussi celles que Ph. DUCHAUFOUR (1948) a formulées dans son étude de la Chênaie atlantique française.

3°) CONCLUSIONS

Ce tour d'horizon certainement incomplet est cependant suffisant pour démontrer qu'au cours de la fin du Quaternaire des processus identiques ont engendré des effets analogues sur l'ensemble des territoires de l'Europe occidentale. Les différences sont question de degré et non de nature des phénomènes ; elles dépendent des variations géologiques, topographiques et climatiques ; enfin, et surtout, la vitesse de migration des civilisations humaines a engendré quelques décalages chronologiques.

Comme en Limagne, on constate que la période froide et humide correspond à une phase de creusement bien marquée, suivie par une période sèche qui a provoqué un empâtement du relief par un manteau de limons, produits de remaniements engendrés par la cryergie.

Avec le réchauffement postglaciaire, les plaines d'Europe occidentale se sont progressivement couvertes de forêts qui ont limité l'érosion au creusement linéaire des talwegs, et ont favorisé, au contraire, le développement d'un manteau pédologique ; ces processus ont joué avec le maximum d'efficacité lors de l'optimum climatique postglaciaire, contemporain de la période « atlantique » de BLYTT-SERNANDER.

L'apparition des Néolithiques et de leurs civilisations agricoles et pastorales a brutalement modifié l'équilibre morphologique par les défrichements forestiers. La déforestation généralisée est survenue plus tard, le plus souvent au cours de l'âge du Fer, encore plus tard sans doute en Europe centrale.

Dans les régions accidentées, elle a accéléré l'érosion des sols de versants et leur colluvionnement dans les zones de piémont et dans les vallées secondaires.

SUMMARY

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE RECENT QUATERNARY CALCAREOUS-MARL OF THE GRANDE LIMAGNE : MORPHOGENESIS AND PEDOGENESIS

The history of events, during the recent Quaternary, which affected the calcareous-marl formations on the surface in the Grande Limagne are reviewed. An attempt is made at analysing and following in time the variations in the equilibrium which govern morphological and pedological processes.

A) Processes of morphological and pedological evolution are assessed by means of some essential determinations such as mechanical analysis, calcimetry, degree of saturation of the colloidal complex, fractionation of organic matter and amount of free iron.

These determinations were made on all the surface formations of the region studies, showing the relationships between one and the other.

1°) Calcareous marls of the Stampian supplied an abundant cover of calcareous clay-loams resulting from the action of ice. They are colluvial deposits of the Piemont or covers which moulded the forms of the Wurmian topography.

2°) Along the thalwegs there occured depositions of sandy alluvia, first of quartzitic and feldspar characteristics and later of volcanic nature.

3°) The different calcimorphic soils of the Limagne constitute a toposequence unit.

B) The study of different horizons of the profile also reveals the existence of the following complementary processes.

1°) Aeolian deflation is responsible for the transport of clay soils of the plains to elevated levels of alluvia exposed to the dominant winds.

2°) The last volcanic eruptions of the chaîne des Puys covered the south-western part of the Grande Limagne with volcanic-ash material.

C) In the second part of the paper, chronological investivations, based mainly on the results of pollen analysis, are discussed and two determinations (radiocarbon) of absolute age are made.

The paleobotanic evolution in the Limagne is first established Then a synthesis is made of the events of the recent Quaternary by comparing stratigraphic and chemical characteristics with palynologic and archeological data. The fundamental importance of the action of man, especially since the Iron Age, on evolution is stressed, and the resulting agronomical consequences are discussed.

ZUSAMMENFASSUNG

BEITRAG ZUM STUDIUM DES JÜNGSTEN QUATERNÄRS DER MERGEL-KALKIGEN GROSSEN LIMAGNE (MORPHOGENESE UND PEDOGENESE)

Der Verfasser zeichnet die Geschichte der Geschehnisse die im jügsten Quaternär die Oberfläche der grossen mergel-kalkigen Limagne beeinflussten. (Sedimentbecken des französischen Zentralgebirges.) Er versucht zeitlich und räumlich die Gleichgewichtsveränderungen, die die morphologischen und pedologischen Prozesse regeln, zu analysieren und zu verfolgen.

A) Die morphologischen und pedologischen Evolutionserscheinungen werden durch einige Hauptbestimmungen bewertet : Korngrössenfeinheit, Kalzimetrie, Sattigungsgrad des Kolloidkomplexes, Fraktionierung der organischen Masse, freies Eisen. Diese Messungen werden auf allen

Oberflächenbildungen der betreffenden Gegend ausgeführt. Sie gestatten die Beziehungen herauszustellen, die sie gegenseitg binden.

1°) Die stampischen Kalkmergel gaben einen reichhaltigen Mantel mit Tonkalk-Lehmen, die aus den Frostwirkungen entstehen. Es sind dies kolluviale Ablagerungen am Fusse oder auf dem Hang, die das Würm-Relief verdickten.

2°) Den Tälern entlang lagerten sich sandige, zuerst quartzige und feldspathige, alsdann vulkanische Alluvialsedimente ab.

3°) Die verschiedenen kalzimorphischen Böden der Limagne sind in einer Toposequenz verbunden.

B) Durch das Studium der stratigraphisch besonderen Profile kann die Gegenwart komplementarer Erscheinungen ins Licht gestellt werden :

1°) Die eolische Abwehung ist für den Transport der lehmigen Böden der Ebene auf die erhöhten unter den Hauptwinden liegenden Alluvialschichten verantwortlich.

2°) Direktes Absinken des aschigen Auswurfs bedeckte das Gebiet süd-westlich der grossen Limagne bei den letzten Vulkanausbrüchen der Puys-Gebirgskette.

C) Der zweite Teil der Arbeit ist den chronologischen Forschungen die sich hauptsächlich auf die Resultate der pollinischen Untersuchungen stützen, durch zwei absolute Altersbestimmungen geeicht, (Radiocarbon) gewidmet.

Verfasser stellt vor allem die paleobotanische Entwicklung der Limagne fest. Dann macht er die Synthese der Geschehnisse aus dem jungsten Quaternär, indem er die stratigraphischen und chemischen Eigenschaften mit den palynologischen Ergebnissen und den archeologischen Angaben vergleicht.

Er unterstreicht die fundamentale Rolle des Menschen auf die Entwicklung, besonders seit der Eisenzeit. Daraus schliesst er dann die agronomischen Konsequenzen.

РЕЗЮМЕ

К изучению ближней четвертичной эпохи мергелево-известкового района Большой Лимани : морфогенез и почвообразование.

ГАШОН (Клермон-Ферран).

Автор напоминает историю событий затронувших в течении ближней четвертичной эпохи поверхностные формации мергелево-известкового района Большой Лимани (седиментационный бассейн Французского Центрального Массива). Он делает попытку проанализировать и проследить во времени и пространстве изменения равновесия управляющего морфологическими процессами и процессами почвообразования.

А. — Явления морфологической и педологической эволюции определяются при помощи насущных понятий : гранулометрии, кальциметрии, степени насыщенности коллоидального комплекса, степени раздробления органического вещества, свободного железа. Определения эти производятся во всех поверхностных формациях изучаемого района и благодаря этому выводятся отношения взаимно их связывающие :

1. Мергелевые известняки стампиена сформировали плотный щит над известковыми суглинками образовавшимися в результате действия льда. Речь идет о колювиальных осаждениях подножий или склонов заволокших рельефы вюрма.

2. Песчанные отложения кварцевого, польношпатного а затем и вулканического характеров осели вдоль тальвегов.

3. Различные карбонатные почвы Лимани можно поместить в одну и ту-же топографическую серию.

Б. — Изучение особенностей стратиграфических профилей позволяет также выделить следующие дополнительные явления :

1. Ветровая дефляция произвела перенесение глинистых почв равнины на аллювиальные верховодки подверженные прямому действию ветров.

2. При последних извержениях вулканической цепи Пюи прямое осаждение пепла покрыло территории юго-запада Большой Лимани.

В. — Вторая часть работы посвящена опытам хронологического порядка которые базируются главным образом на результатах анализа пыльцы сверенных двумя определениями абсолютного возраста (радиоактивная углекислота).

Автор старается прежде всего установить палео-ботаническую эволюцию Лимани. За этим следует синтез событий ближней четвертичной эпохи, где автор сопоставляет стратиграфические и химические характеристики с паленологическими данными и с археологическими указаниями, подчеркивая основную роль человека в эволюции, особенно начиная с железного века. И заканчивает — выедением изо всего этого общих агрономических последствий.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AGAVONOFF V., 1926. La genèse des Terres Noires et des autres sols des environs de Clermont-Ferrand. *C. R. Acad. Sci.*, **182**, 224-226.

AGAVONOFF V., 1928. Les types des sols de France. 1re partie. *Ann. Sci. Agron. Fr.* et *Etr.*, 97-120.

ANNE P., 1945. Sur le dosage rapide du carbone organique des sols. *Ann. Agron.*, 161-172.

ANSTETT A., 1956. Humification et potentiels électronique et protonique. *C. R. VIe Congr. Int. Sci. Sol.*, Paris, vol. B, 753-758.

ASSARSON G., GRANLUND E., 1924. En method för pollenanalys ar minerogena jordaster. *Geol. Fören Förhdl.*, **46**, 76.

AURIAT S., 1957. Étude des sondages et captages dans quelques coulées de la Chaîne des Puys (Balmet, Côme, Louchadière, Aydat et Tiretaine). *Rev. Sci. Nat. Auv.*, **23**, 3-4, 97-141.

BARRIÈRE Cl., 1956. Les civilisations tardenoisiennes en Europe occidentale. Bière Édit., Bordeaux.

BENTOR Y., 1954. Recherches géologiques et pétrographiques sur la Chaîne des Puys (Massif Central français). *Bull. Serv. Carte Géol. Fr.*, nº 242, **52**, 1-429.

BÉTRÉMIEUX R., 1951. Étude expérimentale de l'évolution du fer et du manganèse dans les sols. *Ann. Agron.*, **2**, 193-295.

BLACHE J., 1942. Des versants aux rivières. *Rev. Géogr. Alp.*, **30**, 1-50.

BOBRITSKAÏA M. A., 1961. Nature of humic substances in transural chernozems. *Soviet Soil Sci.*, 1, 54-60.

BONIFAY E., 1957. Age et signification des sols rouges méditerranéens en Provence. *C. R. Acad. Sci.*, **244**, 3075-3077.

BOUDET M., 1890. Les premiers travaux de desséchement du Marais de la Limagne d'après les textes inédits du Moyen Age. *Revue Auv.*, **7**, 331-384.

BOULAINE J., 1957. Étude des sols des plaines du Chélif. 583 p., Alger.

BOULAINE J., 1959. Sols marrons jeunes et sols tirsifiés jeunes. *Bull. Assoc. Fr. Et. Sol.*, 2, 52-57.

BOUT P., 1950. L'érosion du sol en Haute-Loire. *Bull. Soc. Acad. du Puy*, **28**.

BOUT P., 1952. Le climat du Velay au Quaternaire et au Postglaciaire. *C. R. Somm. Séances Soc. Biogéogr.* **249**, 17-39.

BOUT P., 1953. L'érosion des reliefs phonolithiques et basaltiques de la Haute-Loire depuis le dernier glaciaire. in *Mélanges géographiques Ph. Arbos. Publ. Fac. Lettres Univ. Clermont.*, **7**, 91-102.

BOUT P., 1957. Le Néolithique de la Haute-Loire. *Bull. Soc. Acad. du Puy.*, **35** et **36**.

BROEKER W. S., EWING M., EEZEN B. C., 1960. in GUILLIEN Y., 1961, *op. cité* p. 3.

BROUSSE R., 1954. Analyses chimiques des roches volcaniques tertiaires et quaternaires de la France. *Bull. Serv. Carte Géol. Fr.*, **58**, nº 263, 1-140.

BÜDEL U., 1951. Klima-morphologische Beobachtungen in Suditalien. *Erdkunde, V*, 73-76.

CAILLEUX A., 1948. Le ruissellement en pays tempéré non montagneux. *Ann. Géogr.*, **57**, 21-39.

CAILLEUX A., TAYLOR G., 1954. Cryopédologie ; études des sols gelés. 219 p., Hermann Édit., Paris.

CAYEUX L., 1935. Les roches sédimentaires de France. Roches carbonatées. 463 p., Masson Édit., Paris.

CHAMINADE R., 1946. Sur une méthode de dosage de la fraction humifiée de la matière organique des sols. *Ann. Agron.*, 119-132.

CHASSAGNE M., 1956. Inventaire analytique de la Flore d'Auvergne et contrées limitrophes des départements voisins. 2 vol., Lechevalier Édit., Paris.

CHAVASTELON R., ELOUARD D., 1925. L'acide phosphorique de la Limagne et les cinérites des volcans d'Auvergne. *C. R. Acad. Agric.*, **11**, 590-592.

COLLIER D., 1944. Composition minéralo-pétrographique et coloration des sols dans le Puy-de-Dôme. *Ann. Agron.*, 169-177.

COLLIER D., 1947. L'analyse chimique élémentaire des sols et des roches en Pédologie. *Ann. Agron.*, 329-345.

COLLIER D., 1949. Contribution à l'étude des Terres Noires de la Limagne d'Auvergne ; constitution et genèse. *Ann. Agron.*, 1-77.

COLLIER D., 1953. Résultats de douze années de fertilisation en Auvergne. *Rev. Agric., P.-de-D.*, 1-19.

COLLIER D., GACHON L., 1954. De l'influence de différentes conditions de sous-sol sur la végétation et le rendement d'un blé d'hiver en terres noires de Limagne. *C. R. Acad. Agric.*, **40**, 134-138.

COLLIER D., GACHON L., 1955. Essai de cartographie à grande échelle d'une commune de la Limagne argilo-calcaire : « Lempdes ». *Bull. Assoc. Fr. Et. Sol.*, 61, 1-27.

COLLIER D., GACHON L., 1957. Les connaissances actuelles sur la fertilisation en Auvergne. *XXXe Congr. Ind. Chim., Athènes.*

DANGEARD L., 1934. Roche à grains de pollen du puy de Mur et de Gergovie. *Bull. Soc. Hist. Nat.*, **22**, 31-32.

DARPOUX R., 1961. Essai sur l'intérêt économique de l'assainissement des « Marais » de Limagne. *Bull. Techn. Inform.*, **159**, 411-424.

DELAUNAY P., 1936. Introduction à l'étude des sols de la Limagne d'Auvergne, plus particulièrement de ses sols noirs. 110 p., Delaunay Édit., Clermont-Ferrand.

DEMOLON A., BASTISSE E., 1935. Sur la dispersion des colloïdes argileux ; application à leur extraction *Ann. Agron.*, 1-15.

DEMOLON A., 1952. Dynamique du sol, 5e édit., 520 p., Dunod Édit., Paris.

DERRUAU M., 1949 *a*. La Grande Limagne auvergnate et bourbonnaise, 541 p., Delaunay Édit., Clermont-Ferrand.

DERRUAU M., 1949 *b*. La morphogenèse de la Grande Limagne et ses conséquences sur la morphologie des plateaux bordiers. 181 p., Allier Impr., Grenoble.

DERVILLE H., FIRTION F., 1951. Sur la palynologie du dépôt de comblement d'un abri sous roche de Haute Auvergne. *C. R. Acad. Sci.*, **233**, 423-424.

DESAUNETTES J. R., 1958. Classification pratique des sols hydromorphes. *Bull. Assoc. Fr. Et. Sol.*, 8, 396-411.

DIMBLEBY G. W., GILL J. M., 1955. The occurence of podzols under deciduous woodland in the New Forest *Forestry*, **28**, 2.

DIMBLEBY G. W., 1957. Pollen analysis of terrestrial soils. *New Phytol.*, **56**, 1, 12-28.

DIMBLEBY G. W., 1961 *a*. Soil pollen analysis. *J. Soil. Sci. G. B.*, **12**, 1, 1-11.

DIMBLEBY G. W., 1961 *b*. Transported material in the soil profils. *J. Soil. Sci., G. B.*, **12**, 1, 12-22.

DUBOIS G., DUBOIS C., 1940. Étude pollenanalytique de tourbières de la vallée de Chamonix. *Rev. Sci. Nat. Auv.*, **6**, 3-4, 53-80.

DUBOIS G., 1948. Pollen analysis of postglacial peats and deposits in France for the period 1939-1946. *Vegetatio*, **1**, 43-50.

DUCHAUFOUR Ph., 1948. Recherches écologiques sur la chênaie atlantique française. *Ann. Ec. Nat. Eaux et Forêts, Nancy*, **11**, 1, 1-332.

DUCHAUFOUR Ph., 1950. Recherches sur l'évolution des sols calcaires en Lorraine. *Ann. Ec. Nat. Eaux et Forêts, Nancy*, **12**, 1, 99-153.

DUCHAUFOUR Ph., 1954. Évolution des sols forestiers en liaison avec la végétation forestière. *Bull. For. Fr.*, **11**, 641-647.

DUCHAUFOUR Ph., 1957. Pédologie ; tableaux descriptifs et analytiques des sols. 87 p., Éc. Nat. Eaux et Forêts, Nancy.

DUCHAUFOUR Ph., 1960 *a*. Précis de Pédologie, 438 p., Masson Édit., Paris.

DUCHAUFOUR Ph., 1960 *b*. Note sur l'influence des variations du microclimat du sol dans les processus d'humification. *C. R. Acad. Sci.*, **250**, 4422-4424.

DUCHAUFOUR Ph., 1961. Le rôle de la végétation dans l'évolution des sols. *Bull. Ass. Fr. Et. Sol.*, 4, 168-193.

DUMAIT P., 1962. Le vibroséparateur et son emploi dans la concentration des pollens contenus dans les sédiments. *C. R. Acad. Sci.*, **255**, 1637-1639.

DUPUIS J., 1960. Études de pédologie historique. *Trav. Stat. Agron.*, 10-11.

EMILIANI C., 1955. Pleistocene Temperatures. *J. Géol.*, **63**, 538-578.

ENJALBERT H., 1961. Les pays aquitains. 1re partie, le modelé et les sols. t. 1, 618 p. Bière Impr., Bordeaux.

ERDTMAN G., 1943. An introduction to pollen analysis. 239 p., Chr. Bot. Édit., Waltham, U. S. A.

ERHART H., DELAUNAY P., 1938. Sur l'origine des Terres Noires de la Limagne de Clermont-Ferrand. *Rev. Sci. Nat. Auv.*, **4**, 2, 96-98.

ESTIENNE P., 1956. Recherches sur le climat du Massif Central français. 242 p., *Mém. Météor. Nationale, Paris*

FAEGRI K., IVERSEN J., 1950. Text book of modern pollen analysis. 168 p., Ejnard Munksgaard, Copenhague.

FEL A., 1962. Les hautes terres du Massif Central. Tradition paysanne et économie agricole. *Public. Fac. Lettres et Sciences humaines, Clermont-Ferrand. Nouv. série*, fasc. 13, 340 p.

FIRBAS F., 1949. Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas Nördlich der Alpen. I. Allgemeine Waldgeschichte, 480 p., Fischer Verlag, Iena.

FIRBAS F., 1952. Spät-und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas Nördlich der Alpen. II. Waldgeschichte der einzelnen Landschaften. 256 p., Fischer Verlag, Iena.

FLOREA N., 1956. Quelques particularités morphogénétiques des chernozems phréatiques humides (de prairie) de la plaine roumaine. *C. R. VIe Congr. Int. Sci. Sol, Paris*, Vol. E., 625-630.

FOURNIER G., 1960. Essai sur le peuplement de la Basse Auvergne à l'époque gallo-romaine. *Rev. Auv.*, **73**, 129-163.

FREY R., 1938. La classification moderne des roches éruptives. 127 p. *Notes et Mém., Serv. Mines et Carte Géol. Maroc.*, n° 444.

GACHON L., 1954. Sur le dosage de l'acide phosphorique par le phosphomolybdate d'ammonium ; examen critique de quelques méthodes d'analyse quantitative. *Ann. Agron.*, *5*, 259-283.

GACHON L., 1956. Contribution à l'écologie de la Reinette blanche du Canada en Auvergne. *Ann. Agron.*, **7**, 219-275.

GACHON Luc., 1931. Les Terres Noires de Limagne. *Rev. Auv.*, **45**, 98-99.

GACHON Luc., 1939. Les Limagnes du Sud et leurs bordures montagneuses. 474 p., Arrault Impr., Tours.

GACHON Luc., 1946. Les variétés régionales du climat dans le Massif Central et le vrai Massif Central climatique. *Étud. Rhod.*, **21**, 33-54.

GEZE B., 1959. La notion d'âge du sol. Son application à quelques exemples régionaux. *Ann. Agron.*, **10**, 237-255.

GLANGEAUD L., 1940. Sur le Quaternaire de la région de Clermont-Ferrand et ses relations avec les « Terres Noires » de la Limagne. *C. R. Somm. Soc. Géol. Fr.*, 52-54.

GLANGEAUD L., 1956. Classification des sols et hiérarchie des phénomènes en pédologie. *C. R. VIe Congr. Int. Sci. Sol.*, Paris, vol. *A*, 176-179.

GODWIN H., 1934. In DIMBLEBY G. W., 1957, *op. cité* p. 15.

GRAHMANN R., 1955. La préhistoire de l'humanité. 358 p. Payot Édit., Paris.

GRANGEON P., 1958. Contribution à l'étude de la flore stampienne de Limagne. *Rev. Sci. Nat. Auv.*, **24**, 41-104.

GROSS H., 1958. Diebisherigen Ergebnisse von ^{14}C Messungen und paläolithischen Untersuchungen für die Gliederung und Chronologie des Jengpleistozans in Mitteleuropa und den Nachbargebieten. *Eiszeit. u. Gegenn.*, **9**, 155-187.

GUILLIEN Y., 1954. Le litage des grèzes. *C. R. Acad. Sci.*, **238**, 2250-2251.

GUILLIEN Y., 1962. Néoglaciaire et Tardiglaciaire : géochimie, palynologie, préhistoire. *Ann. Géogr.*, **71** 1-35.

GULLENTOPS F., 1957. L'évolution du relief depuis la dernière glaciation. *Bull. Soc. belge Et. Géogr.*, **26**, 1, 71-87.

GUYON G., 1947. Les sols de la Grande Limagne. *Bull. Techn., Inf.*, **23-24**, 95-106.

IARKOF S. P., 1956. Dynamique saisonnière de certains processus dans les sols. *C. R. VIe Congr. Int. Sci. Sol., Paris*, Vol. E, 401-405.

IVERSEN J., 1936. Sekündares Pollen als Fehlerquelle. *Danm. Geol. Unders.*, 4 Rk., **2**, 15, 36-48.

IVERSEN J., 1941. Land occupation in Denmark's Stone Age. *Danm. Geol. Unders.*, **66**, 2, Rk. 20-68.

IVERSEN J., 1949. The influence of Prehistoric Man on Vegetatio. *Danm. Geol. Unders.*, 4, Rk., **3**, 6, 5-28.

IVERSEN J., 1960. Problems of the early Post-glacial forest development in Denmark. *Danm. Geol Unders.*, 4 Rk., **4**, 1-32.

JARRIER M., 1943. La couverture primitive de l'église d'Orcival. *Bull. Hist. Scient. Auv.*, **63**, 204-207.

JUNG J., DELAUNAY P., 1936. Sur l'abondance des larmes et cheveux de verre volcanique dans les Terres Noires de la Limagne d'Auvergne. *C. R. Somm. Soc. Géol. Fr.*, 62-65.

JUNG J., 1946. Géologie de l'Auvergne et de ses confins bourbonnais et limousins. 372 p. Impr. Nationale, Paris.

JUNG J., 1958. Précis de Pétrographie. 314 p. Masson Edit., Paris.

KRUMBEIN W. C., PETITJOHN F. J., 1938. Manual of sedimentary petrography, 549 p., Appleton Century Crofts, New-York.

KUBIENA W. L., 1953 *a*. The soils of Europe, 318 p., Thomas Murby Édit., Londres.

KUBIENA W. L., 1953 *b*. Zür Methodik der Paläopedologie. *C. R. VIe Congr. Int. Quaternaire*, Rome-Pise, **1**, 295-305.

LACROIX A., 1933. Contribution à la connaissance de la composition chimique et minéralogique des roches éruptives de l'Indochine. *Bull. Serv. Géol. Indochine*, **20**, 3, 208 p.

LAFOND L. R., 1953. Application de la méthode des indices à l'étude de l'évolution des sédiments actuels dans le bassin de la rivière Sal (Morbihan). *C. R. Acad. Sci.*, **237**, 82-84.

LANG G., TRAUTMANN W., 1961. Zür spät und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte der Auvergne. *Flora*, **150**, 11-42.

LAPLANTE A., 1954. Les sols foncés tropicaux d'origine basaltique au Cameroun. *C. R. Ve Congr. Int. Sci. Sol.*, Léopoldville, **4**, 144-148.

LECOQ H., 1867. Les époques géologiques de l'Auvergne. t. V, Paris.

LEFÈVRE P., 1961. Contribution à l'étude de la capacité d'échange et des bases échangeables des sols non calcaires. I. Capacité d'échange. Discussion et choix des méthodes. *Ann. Agron.*, **12**, 169-206.

LEMÉE G., 1942. Recherches sur l'histoire forestière postglaciaire en Auvergne. III. Modifications forestières et climatiques dans les Monts Dore d'après l'analyse pollinique. *Rev. Sci. Nat. Auv.*, **8**, 84-125.

LEMÉE G., 1943. Sur les modifications climatiques et végétales en Limagne depuis la fin du Néolithique *Bull Hist. et Scient. Auv.*, **63**, 108-109.

LEMÉE G., 1948. La méthode de l'analyse pollinique et ses apports à la connaissance des temps quaternaires *Ann. Biol.*, **24**, 2, 49-75.

LEMÉE G., 1949. Synchronisation entre l'âge du Bronze et les phases forestières du plateau de Millevaches. *Bull. Soc. Préhist. Fr.*, **46**, 68-71.

LEMÉE G., WEY R., 1950. Observations pédologiques sur les sols actuels du loess des environs de Strasbourg. *Ann. Agron.*, **1**, 161-172.

LEMÉE G., 1953 *a*. L'évolution forestière du Massif Central depuis la dernière glaciation. In *Mélanges géographiques Ph. Arbos. Public. Fac. Lettres Univ. Clermont-Ferrand*, **7**., 189-196.

LEMÉE G., 1953 *b*. Observations sur la végétation actuelle et son évolution postglaciaire dans le massif du Mézenc. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, **100**, 67-77.

LEMÉE G., 1954. Observations nouvelles sur la végétation au dernier interglaciaire et au tardiglaciaire en France d'après l'analyse pollinique. *C. R. VIIe Congr. Int. Bot.*, Paris, Sect. 6, 263-264.

LEMÉE G., 1955. L'évolution de la forêt française au cours du Quaternaire d'après les analyses polliniques. *Rev. For. Fr.*, **12**, 442-460.

LEMÉE G., 1956 *a*. Le peuplement végétal de l'Auvergne. *Rev. Sci. Nat. Auv.*, **22**, 73-89.

LEMÉE G., 1956 *b*. Sur l'évolution de la végétation dans le Massif Central au tardiglaciaire et au postglaciaire. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, **103**, 83-94.

LENEUF N., 1954. Les terres noires du Togo. *C. R. Ve Congr. Int. Sci. Sol.*, Léopoldville, **4**, 131-136.

MAIGNIEN R., 1961. Sur les sols d'argiles noires tropicales d'Afrique Occidentale. *Bull. Ass. Fr. Et. Sol.*, 8, 131-144.

MALTERRE H., 1940. Observations sur les sols noirs de Limagne. *C. R. Acad. Agric.*, **27**, 873-875.

MALTERRE H., 1946. Contribution à l'étude des limons quaternaires du Bassin de Paris. 108 p., Le Courrier Picard, Impr., Amiens.

MANIL G., 1956. Aspects dynamiques du profil pédologique. *C. R. VIe Congr. Int. Sci. Sol, Paris*, vol. E, 439-441.

MAROCKE R., 1962. Sols de l'Autriche orientale. *Bull. Assoc. Fr. Et. Sol.*, 4, 189-209.

MEILHAUD R., 1955. Les minéraux lourds des alluvions néogènes et quaternaires de l'Allier à hauteur de Clermont-Ferrand. *Rev. Sci. Nat. Auv.*, **21**, 3-4, 15-34.

MENSHING H., 1951. Une accumulation postglaciaire provoquée par des défrichements. *Rev. Géom. Dyn.*, **2**, 145-156.

MENSCHING H., 1958. Soil erosion and formation of haugh-loam in Germany. *Assoc. Int. Hydr. Sci., Public. belge*, n° 43, 174-180.

MERIAUX S., 1961. Observations complémentaires sur les sols du plateau jurassique bourguignon. *Bull. Ass. Fr. Et. Sol.*, 9, 334-342.

METSON A. J., 1956. Methods of chemical analysis for soil survey samples. *New Zealand Soil Bureau*, Bull. n° 12.

MICHEL R., 1953. Contribution à l'étude pétrographique des pépérites et du volcanisme tertiaire de la Grande Limagne. *Mém. Soc. Hist. Nat. Auv.*, n° 5, 140 p.

MINET A., 1960. Analyse pollinique de dépôts quaternaires de la région lyonnaise. Thèse Doct. 3° C., Géol. Quaternaire, Lyon, 38 p.

MÜLLER I., 1947. Der pollenanalytische Nachweis der menschlichen Besiedlung im Federsee und Bodenseegebiet. *Planta*, **35**, 70-88.

NOUGIER L. R., 1950. Les civilisations campigniennes en Europe occidentale. 571 p. Monnoyer Impr., Le Mans.

PEARSALL W. H., GAY J., NEWBOULD J., 1960. Post-glacial sediments as a record of regional soil drifts. *J. Soil. Sci. G. B.*, **11**,1, 68-76.

PELLETIER H., RUDEL A., 1958. Sur l'âge de quelques volcans de la Chaîne des Puys par la méthode du carbone 14. *Rev. Sci. Nat. Auv.*, **24**, 1-2-3-4, 117-121.

PELLETIER H., DELIBRIAS G , LABEYRIE J., PERQUIS M. T., RUDEL A., 1959. Mesure de l'âge de l'une des coulées volcaniques issues du puy de la Vache (P.-de-D.) par la méthode du carbone 14. *C. R. Acad. Sci.* **249**, 2221-2223.

PERREAU A., 1937. Sur quelques découvertes gallo-romaines dans les quartiers du pont de Naud et des Paulines à Clermont-Ferrand. *Rev. Sci. Nat. Auv.*, **3**, 104-106.

PLAISANCE G., CAILLEUX A., 1958. Dictionnaire des sols, 604 p., La Maison Rustique, Édit., Paris.

POMEL A., 1853. Catalogue méthodique et descriptif des vertébrés fossiles découverts dans le bassin hydrographique supérieur de la Loire. 193 p., Paris.

POMMEROL F., 1879. Le gisement quaternaire de Sarliève. *Ass. Fr. Avanc. Sci.*, Montpellier, 801-803.

PONOMARYEVA V. V., 1956. Humus formation ; its nature and geographical distribution. *C. R. VIe Congr. Int. Sci. Sol*, Paris, vol. E, 207-212.

POKROVSKAIA I. M., 1950. Analyse pollinique. Trad fr. de BOLTENHAGEN E., *Ann. Serv. Inf. Geol. B. R. G. G. M.*, 1958, n° 24, 435 p.

RAYNAL P., 1953. Étude pétrographique des calcaires concrétionnés de la Limagne. *Rev. Sci. Nat. Auv.*, **19**, 1-2, 29-38.

RIEHM H., UBRICH B., UBRICH M., 1954. Schnelle Bestimmung der Kationensorptionkapacität. *Landwirt. Forsch.*, **6**, 2-95.

RIVIÈRE A., SALLE Cl., VERNHET S., 1951. Sur certaines anomalies granulométriques apparentes des roches argileuses et leur interprétation géologique. *C. R. Acad. Sci.*, **232**, 1858-1860.

RIVIÈRE A., 1952. Expression analytique générale de la granulométrie des sédiments meubles. Indices caractéristiques et interprétation géologique. Notion de faciès granulométrique. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 6e Série, **2**, 155-167.

RIVIÈRE A., PIMIENTA J., RAZAVET Chr., FRIDMAN R., VERNHET S., 1952 *b*. Sur l'interprétation géologique de la granulométrie des sédiments argileux et argilo-vaseux. *C. R. Acad. Sci.*, **234**, 2298-2300.

RIVIÈRE A., 1954. Généralisation de la méthode des faciès granulométriques. Évaluation de la dispersion aléatoire. *C. R. Acad. Sci.*, **238**, 2326-2328.

RIVIÈRE A., 1957. Sur le caractère intrinsèque de l'indice d'évolution dans la méthode des faciès granulométriques. *C. R. Acad. Sci.*, **244**, 1389-1391.

ROBELIN M., COLLIER D., 1958. Évapo-transpiration et rendements culturaux. *C. R. Acad. Sci.*, **247**, 1774-1776.

ROBELIN M., 1960. Le bilan de l'eau sous climat limagnais et ses répercussions agronomiques. *Bull. Ass. Fr. Et. Sol.*, 8, 393-401.

ROBICHET O., 1957. Recherches sur les oxydes de fer et de manganèse dans les sols. *Ann. Agron.*, **8**, 511-572.

ROQUES M., 1949. Introduction à la Géologie de l'Auvergne. In Clermont et sa région, de Bussac, Impr., Clermont-Ferrand.

RUDEL A., 1938. Étude géologique des pépérites de la région du puy de Mur. *Rev. Sci. Nat. Auv.*, **4**, 3-4, 158-183.

RUDEL A., GACHON Luc, BOUT P., 1947. Observations et réflexions sur les pépérites. *Rev. Auv.*, **61**, 37-48.

RUDEL A., 1949. Sur quelques phénomènes périglaciaires en Limagne. *Rev. Sci. Nat. Auv.*, **16**, 3-4, 71-76.

RUDEL A., 1951. L'âge des Terres Noires et les phénomènes périglaciaires en Limagne. *Bull. Ass. Fr. Et. Sol.*, 19, 11-15.

RUDEL A . 1952. Nature géologique des sols au sud de la Limagne de Clermont. *Bull. Ass. Fr. Et. Sol.*, 38, 6-13.

RUDEL A., LEMÉE G., 1955. Wurmien et postwurmien en Limagne de Clermont. *Rev. Sci. Nat. Auv.*, **21**, 1-2, 27-37.

RUDEL A., 1957. Contribution à l'étude des terrains pliocènes et quaternaires en Limagne de Clermont. *Bull. Serv. Carte Géol. Fr.*, n° 251, **55**, 65-79.

RUDENSKAYA K. V., 1959. Characteristics of the organic matter in the principa soil of Rostov region. *Soviet Soil Sci.*, 11, 1336-1339.

SCHOLLENBERGER C. J., DREIBEIBIS R. F., 1930. Analytical methods in base exchange investigations on soils. *Soil. Sci.*, **30**, 161-173.

SERNANDER R., 1910. Die schwedischen Torfmoore als Zeugen postglazialer Klimaschwankungen. *Postglaz. Klimaänderungen*, Stockholm.

SINGH S., 1956. The formation of dark coloured clay-organic complexes in black soils. *J. Soil. Sci., G.B.*, **7**, 1, 43-58.

SITTLER Cl., 1955. Méthodes et techniques physicochimiques de préparation des sédiments en vue de leur analyse pollinique. *Rev. Inst. Fr. Pétrole et Ann. Comb. liq.*, **10**, 2, 103-114.

STRAKHOV N. M., 1957. Méthodes d'étude des roches sédimentaires. Trad. fr. de SAINT-AUBIN J. P., VATAN A., et *al.* *Ann. Serv. Inf. Geol. B. R. G. G. M.*, 1958, n° 35, 542 p.

TAMHANE R. V., 1950. Regur soils of India. *C. R. IVe Congr. Int. Sci. Sol*, Amsterdam, **3**, 131-134.

TAVERNIER R., 1954. Le Quaternaire. In Prodrome d'une description géologique de la Belgique, Liège, 555-589.

TERMIER H., TERMIER G., 1960. Érosion et sédimentation. 412 p. Masson Édit., Paris.

TRASK P. D., PATNODE H. W., 1942. Source beds of petroleum. *Amer. Ass. Petrol. Geol. Tulska*, Okla.

TREADWELL F. P., BOLL M., 1934. Manuel de Chimie analytique, t. II, 811 p., Dunod Édit., Paris.

TYURIN I. V., 1951. Vers une méthode d'analyse pour l'étude comparative des constituants de l'humus des sols (en russe). *Trav. Inst. Dokutchaiev.*, **38**, 32 p.

VAN CAMPO M., 1950. Une méthode de préparation très rapide des tourbes en vue de leur analyse pollinique. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, **97**, 216-217.

VAN CAMPO M., 1955. Diagrammes polliniques théoriques : une interprétation de quelques phases paléosilvatiques des plaines françaises. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, **90**, 337-347.

VERGNETTE A., 1927. La région de Sarlièvе ; éclaircissements géologiques et historiques. *Rev. Auv.*, **41**, 257-260.

VON POST L., 1918. In ERDTMANN G., 1943, *op. cité*, p. 152.

VON POST L., 1946. The prospect for pollenanalysis in the study of the Earth's climatic History. *New Phytol.*, **45**, 193-218.

WELTEN M., 1950. In DIMBLEBY G. W., 1957, *op. cité* p. 16.

YANKOVITCH L., 1956. Résultats de 22 années d'expériences dans les cases lysimétriques et cases de végétation du Service botanique et agronomique de Tunisie. *Ann. Serv. Bot. Agron. Tunisie.*, **29**, 1-223.

ZAKLINSKAÏA E. D., 1939-1940. In POKROVSKAÏA, 1950, *op. cité*, p. 42.

ZANSDTRA K. J., 1954. Die jungquartäre morphologische Entwickung des Saartales. *Erdkunde*, **8**, 276-285.

ZAVALISHIN A. A. In BÉTRÉMIEUX R., 1951, *op. cité*, p. 207.

Imprimerie Bussière à Saint-Amand (Cher), France. — 4-9-1963.

Dépôt légal : 3e trimestre 1963. *N° d'impression : 970.*